

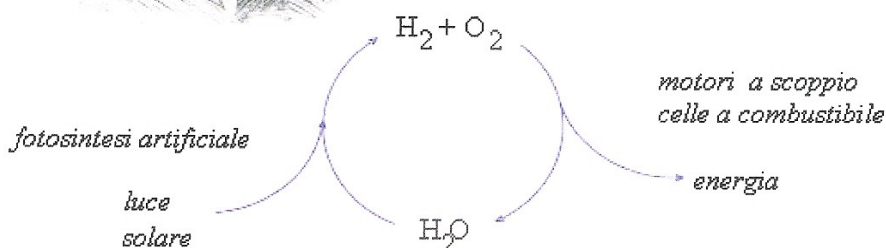
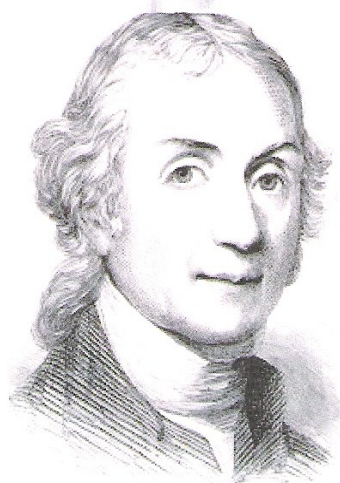
International Year of
CHEMISTRY
2011

CnS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA



«La cultura dell'individuo è sempre sul farsi o non è. L'uomo colto non è chi sa, ma chi apprende... colto e non puramente erudito è l'uomo che sente il dovere di alimentare il proprio spirito assiduamente, quotidianamente, qualsiasi siano le circostanze in cui si trova a vivere...» (Guido Morselli)



International Union of
Pure and Applied
Chemistry

**STORIA E DIDATTICA DELLE SCIENZE
CHIMICA E COMUNICAZIONE
DIDATTICA
EPISTEMOLOGIA
MUSEOLOGIA**

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

EDITORIALE

- 131 **Chimica: possibile ponte fra scuole europee**
di Luigi Campanella
- 132 **Joseph Priestley**
di Gianmarco Ieluzzi
- 134 **Dal MIUR**
di Luigi Campanella
- I Costi dell'istruzione**
di Luigi Campanella
- La dispersione scolastica**
di Luigi Campanella
- 135 **L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze:
un'analisi semiotica delle rappresentazioni della materia e delle sue trasformazioni**
di Ezio Roletto, Alberto Regis, Mohamed Soudani, Olfa Soudani
- 149 **Scuola e coscienza democratica**
di Luigi Campanella
- 150 **Che cosa è il testo unico nella legislazione italiana**
di Luigi Campanella
- 151 **Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!**
Fabio Marchetti, Claudio Pettinari, Corrado Di Nicola, Riccardo Pettinari
- 166 **La Natura non ha fretta ma l'Unanità sì**
di Andrea Latini, Francesca De Porzi, Michela Lisi, Sofia Presta, Simone Salvitti
- 170 **I progetti bandiera**
di Luigi Campanella
- 171 **La valenza educativa del Green Public Procurement**
di Luigi Campanella
- 172 **Un nuovo inizio**
di Marco Ciardi
- 175 **Curiosi, cittadini e molti studenti sui pulman per la "Solvay"**
di Valentina Domenici
- 176 **Uno scritto sconosciuto di Leonardo Di Capua
in difesa dell'arte chimica e de' professori di essa**
di Rocco Dell'Osso
- 179 **L'apprendimento della chimica: per un futuro migliore del presente**
Laura Ricco, Maria Maddalena Carnasciali, Aldo Borsese, Marina Alloisio, Cristina Artini,
Anna Maria Cardinale, Irene Parrachino
- 185 **La chimica come economia della natura**
di Giorgio Nebbia
- 189 **Giochi e Olimpiadi della Chimica 2011**
di Mario Anastasia
- 193 **Lettere al Direttore**
- 197 **"I Comizi di Lione"**
di Pasquale Fetto
- 198 **L'Accademia delle Scienze
detta dei XL**
di Pasquale Fetto
- 199 **Divulgazione e difesa della Chimica**
di Pasquale Fetto
- "Erasmus"**
di Luigi Campanella
- 200 **I caffè delle scienze**
di Luigi Campanella

S

O

M

M

A

R

I

O

Chimica: possibile ponte fra scuole europee

Dipartimento di Chimica Università di Roma “La Sapienza”

La diffusione della cultura chimica sia nelle istituzioni scolastiche sia nella formazione permanente è di certo inadeguata al ruolo che la disciplina ha nella nostra vita di tutti i giorni. Tali scarsa diffusione è peraltro spesso accompagnata anche da una certa impopolarità che in parte deriva da errori commessi nel passato da parte di chi l’ha rappresentata e in parte dalla prevenzione con cui i responsabili della diffusione trattano la materia, evidenziandone preferenzialmente gli aspetti negativi legati per lo più all’inquinamento e alla salute con informazioni anche non corrette. Di conseguenza le lezioni di chimica si appoggiano ad una base che di certo non stimola gli studenti verso atteggiamenti positivi e di interesse. Questo problema è sentito in particolare in Italia ma altri Paesi Europei ne soffrono. Per la sua risoluzione sono state proposte varie iniziative finalizzate a combattere preconcetti e false informazioni e ad un innalzamento del livello qualitativo e quantitativo dello studente con percorsi formativi adeguati, già iniziati nella scuola primaria ed articolati in modo continuativo fino al termine della scuola secondaria. Tutte queste iniziative realizzate in tutti i Paesi di Europa costituiscono un prezioso patrimonio di cui la chimica potrebbe servirsi e che invece spesso resta limitato a semplici Paesi, regioni, segmenti scolastici rinunciando per mancanza di collaboratori alla messa a comune. Un progetto europeo che realizzasse tale collegamento e che attraverso le tecnologie informatiche di rete rendesse fruibile a tutti le esperienze messe a punto nelle varie sedi certamente sarebbe prezioso per stimolare l’apprendimento della chimica, presentata sotto una luce positiva in termini di contributo alla qualità della vita e di capacità di spiegare molti dei fenomeni che appartengono alla nostra vita di tutti i giorni.

Quali gli strumenti?

- esperienze pratiche che esaltano l’aspetto ludico della chimica, ma al tempo stesso attraverso le loro spiegazioni, ne facilitino la comprensione;
- sviluppo di tecniche atte a sviluppare la curiosità scientifica;
- scelta opportuna degli argomenti da trattare ai fini del progetto (energia, ambiente, alimenti, salute, comunicazione, arte);
- creazione di un portale capace di offrire ai visitatori la possibilità di approfondire la propria cultura scientifica, in particolare chimica, attraverso temi “popolari” perché vicini alla nostra vita di tutti i giorni.

Joseph Priestley

Fieldhead, 13 marzo 1733
Northumberland, 6 febbraio 1804

Gianmarco Ieluzzi

gianmarco.ieluzzi@unito.it



Joseph Priestley (1733–1804) è un chimico conosciuto soprattutto per aver isolato alcuni gas, in particolar modo l'ossigeno; presso i suoi contemporanei era tuttavia conosciuto, oltre che per i suoi contributi scientifici, come un libero pensatore, autore di sorprendenti scritti che spaziavano dalla teologia alla filosofia politica e come simpatizzante per la repubblica americana.

Nacque a Fieldhead, nei pressi di Leeds e fu educato per diventare ministro del culto anglicano, ma in seno a un movimento dissidente dalla chiesa d'Inghilterra, l'Unitarianismo, un movimento le cui convinzioni di base erano già presenti nella Chiesa delle origini: veniva infatti messa in discussione la divinità di Gesù Cristo e dello Spirito Santo, dunque un rifiuto del dogma trinitario fondato sulla consustanzialità e coeternità delle tre persone della Trinità. Tale idea non sparì del tutto nel corso della storia delle chiese cristiane; Milton e Newton sono noti per esserne stati simpatizzanti. Solo nel 1773 Priestley uscì dalla Chiesa anglicana formando la prima comunità unitariana a Londra. Il lavoro dei missionari e il fervore intellettuale degli studiosi dell'Accademia di Warrington furono un forte fattore di diffusione del movimento. E proprio in questa accademia Priestley divenne docente nel 1761, alla fine della sua formazione e dopo aver frequentato per quattro anni l'Academy di Daventry (un centro di educazione liberale dove Priestley si avvicinò alla filosofia naturale e fu incoraggiato nella sua curiosità per i fenomeni naturali e la sperimentazione pratica, un istituto quasi obbligato dal momento che le università non accettavano come studenti chi confessava posizioni religiose assolutamente non conformiste) e la successiva nomina a pastore nella parrocchia di Needham Market nel 1755 per tre anni. Non fu un'esperienza pastorale entusiasmante, poiché alcune sue difficoltà nel parlare non gli consentirono di essere considerato un buon predicatore e poiché fu avversato per le sue tendenze unitariane. Fu invitato a essere predicatore e responsabile educativo nella parrocchia di Nantwich, in Cheshire, una comunità più aperta alle tesi non ortodosse che egli professava. Il nuovo incarico gli consentì un sostentamento finanziario più sicuro e anche una disponibilità per l'acquisto di strumentazione per i suoi esperimenti. Il suo successo come docente gli consentì di essere nominato insegnante all'Accademia di Warrington, di cui abbiamo detto poco sopra. *«For the first time since his academic days, he found himself in sympathetic surroundings. His colleagues held the same opinions and shared the same ideals with him. If disagreement arose on any point, they looked on controversy as a means of discovering the truth, and not as a sign of moral reprobation»*, scrive A. Holt nella biografia intitolata *A Life of Joseph Priestley*, Oxford University Press, London, England, 1931.

Fu in questo contesto che conobbe Mary Wilkinson, figlia di John Wilkinson, uno dei più noti fautori della rivoluzione industriale inglese; il matrimonio ebbe luogo nel 1762 e fu così descritto dallo stesso Priestley nella sua autobiografia: *«a very suitable and happy connexion, my wife being a woman of an excellent understanding, much improved by reading, of great fortitude and strength of mind, and of a temper in the highest degree affectionate and generous; feeling strongly for others, and little for herself»* (Autobiography of Joseph Priestley con introduzione di J. Lindsay, Associated University Presses, Cranbury, New Jersey, 1970).

In questo periodo Priestley si recava un mese all'anno a Londra, e durante questi soggiorni conobbe molti personaggi di orientamento politico liberale e liberi pensatori. Tra questi conobbe Richard Price, autore del famoso pamphlet *Civil Liberty* che viene considerato come uno degli scritti che influenzarono la Dichiarazione di Indipendenza delle colonie americane e Benjamin Franklin, che lo introdusse nelle società scientifiche dell'epoca. Gli venne chiesto di scrivere una storia della elettricità (*The History and Present State of Electricity*) che corredò di nuovi esperimenti e utili illustrazioni. Fu un libro apprezzato e che gli ottenne la nomina di Fellow presso la Royal Society di Londra nel 1766.

Per ragioni familiari accettò, l'anno successivo, la nomina a ministro della comunità di Mill Hill a Leeds.

Come si diceva all'inizio, Priestley è conosciuto per i suoi esperimenti sui gas, in particolare per aver individuato l'ossigeno (in realtà pochi anni prima Karl Scheele scoprì l'ossigeno, chiamandolo aria di fuoco, ma la pubblicazione è

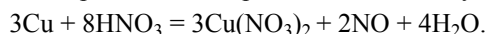
posteriore ai lavori di Priestley). Con uno sguardo retrospettivo, possiamo tuttavia affermare che i lavori più decisivi sullo studio dell'ossigeno furono di Lavoisier.

La sua formazione scientifica fu soprattutto da autodidatta e furono svariati i suoi interessi scientifici. I suoi pur interessanti lavori sull'elettricità sono messi in secondo piano rispetto alle ricerche chimiche, iniziate nel 1767 e culminate nel 1774. Egli fu un brillante sperimentatore e abile nelle pratiche di laboratorio più che un acuto teorico.

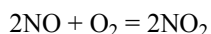
Fu in particolare la lettura dei lavori di Black sull'aria fissa che lo indussero ad avvicinarsi alla chimica (l'aria fissa, o spirito silvestre di Helmont, è diossido di carbonio ottenuto per calcinazione dal carbonato di calcio). Concentrandosi proprio sull'aria fissa, compì numerosi ricerche che lo portano ad isolare diversi gas, tra cui l'aria nitrosa NO, lo spirito di sale HCl e l'aria deflogisticata O₂.

Lo studio del diossido di carbonio lo portò a comprendere la natura delle acque minerali, tra cui le famose acque di Spa, in Belgio. Tale indagine e la comprensione del lavoro sull'aria fissa disciolta nelle acque gli fece vincere la Copley Medal della Royal Society.

Da un punto di vista sperimentale, Priestley fece reagire il rame in ambiente acido secondo la reazione:



L'aria nitrosa che si sviluppa, a contatto con l'ossigeno, vira il suo colore in rosso:



tale reazione provoca una diminuzione di volume e va notato che a questo stadio dei suoi lavori non ha ancora isolato l'ossigeno. Egli parla di aria buona (ricca di ossigeno) che divora l'aria nitrosa. Infatti nel 1771 riconosce come poco respirabile l'aria rimasta a contatto con le piante verdi e scrive: «The injury which is continually done to the atmosphere by the respiration of such a large number of animals...is, in part at least, repaired by the vegetable creation», come riportato da J. R. Partington in *A Short History of Chemistry*, 3rd ed., Dover Publications, Inc., New York, 1989, pp. 110-121.

Nei suoi esperimenti si concentra anche sull'azione dell'acido cloridrico, o spirito di sale, sul ferro, notando che si sviluppa un gas che ha un volume dimezzato (H₂).

Osserva anche che il ferro reagisce con NO e da tale reazione si sviluppa N₂O che chiama ossido nitroso ridotto, gas buono per alimentare la combustione.

Durante l'esecuzione dei suoi esperimenti innova anche la pratica sperimentale introducendo il bagno di mercurio al posto dell'acqua, avendo osservato che in tal modo i gas sviluppati non si scioglievano nel mercurio, contrariamente al caso dell'acqua.

Il 1 agosto del 1774 a Wiltshire Priestley scaldò dell'ossido di mercurio concentrando la luce solare con una lente; ottiene un gas insolubile in acqua e che alimenta la combustione della fiamma di una candela. Scrive: «I have discovered an air five or six times as good as common air»; questa aria la denomina aria deflogisticata. Annota anche che la clacinazione di un metallo consente al metallo stesso di sottrarre aria buona dall'atmosfera.

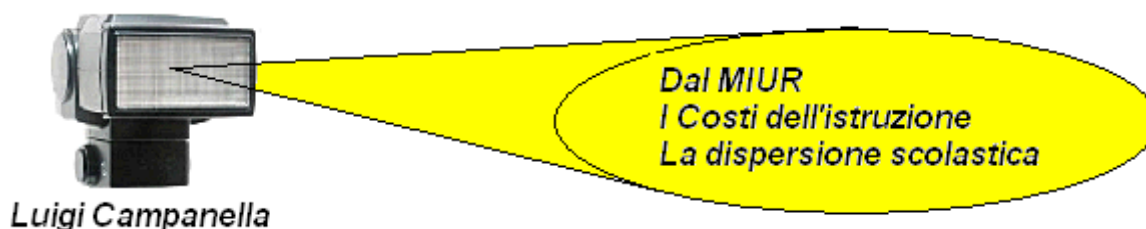
Negli anni seguenti Priestley visse ancora molte esperienze: rifiutato nel secondo viaggio dal capitano Cook come naturalista per le sue idee religiose, divenne bibliotecario e istitutore del figlio di William Petty, signore di Shelburne. Fu un periodo economicamente soddisfacente e in questi anni pubblicò i suoi due più importanti lavori filosofici: *Disquisitions Relating to Matter and Spirit*, di chiara impostazione materialistica, e *Experiments and Observations*, un resoconto delle sue scoperte chimiche.

Priestley accompagnò lord Shelburne in un viaggio nel continente europeo, dove poté conoscere molti scienziati dell'epoca; in particolar modo poté conoscere e confrontarsi con Lavoisier, esponendogli i suoi risultati e confrontarsi sulla teoria del flogisto. Come è noto Lavoisier in quel periodo elaborò le sue teorie sulla combustione che misero la parola fine alla teoria del flogisto.

Di ritorno in Gran Bretagna, Priestley, nonostante gli ottimi rapporti con lord Shelburne, desiderò riprendere il suo ministero e si trasferì a Fairhill, a Birmingham, nel 1780. Qui aderì alla Lunar society, di cui era spesso ospite anche Benjamin Franklin. La società della Luna era composta da una dozzina di uomini, chiamati spesso Lunatici, interessati alle scienze naturali e alla letteratura.

I suoi scritti religiosi e le sue simpatie per la Rivoluzione Francese furono deleterie per Priestley, la sua famiglia e gli altri dissidenti unitariani. Con l'emanazione del *Test and Corporation Acts*, i dissidenti furono privati di ogni libertà politica e la loro convinzione religiosa non fu più tollerata. Priestley fu pubblicamente attaccato da parte della House of Commons, e così subì il rogo di ogni sua immagine, la rappresentazione grottesca e caricaturale delle immagini che lo riguardavano, venne attaccato dai pulpiti delle chiese e fu oggetto di lettere minatorie; i suoi figli non potevano trovare lavoro. A 61 anni il 7 aprile 1794 Priestley si rifugia in America con la famiglia, sbarcando a New York e trasferendosi a Philadelphia, la capitale. Gli venne offerta una cattedra di chimica presso l'università della Pennsylvania, ma Priestley la rifiutò seguendo il figlio e un amico del figlio in una comunità di dissidenti inglesi nella zona centrale della Pennsylvania. In quegli anni morirono il figlio più giovane e la moglie.

Continuò a essere attivo, a scrivere e fondò la Chiesa Unitariana in America. Strinse rapporti di amicizia e professionali con Jefferson e ricevette una riconoscenza prestigiosa da parte dell'American Philosophical Society. Si spense a Philadelphia, dove era tornato a dimorare oramai da qualche anno, il 6 febbraio del 1804.



Al MIUR, lo scorso 10 giugno si è svolto un incontro per la presentazione di una documentazione riguardante le linee guida del secondo biennio e dell'ultimo anno dei percorsi degli istituti tecnici e professionali nonché la definizione dello schema di decreto interministeriale sulle opzioni.

Il Direttore generale per l'istruzione e formazione tecnica superiore, Raimondo Murano, ed esponenti della direzione e del gruppo tecnico di lavoro per il riordino degli istituti tecnici e professionali, tra cui Alberto Felice De Toni, hanno evidenziato che i documenti sottoposti all'attenzione dei presenti all'incontro del 10 giugno costituiscono una prima proposta che potrà essere modificata in corso d'opera, in quanto aperta ai suggerimenti ed agli apporti di tutti coloro che intenderanno inviare osservazioni e proposte.

Tali materiali infatti, insieme a quelli relativi a tutti gli indirizzi degli istituti tecnici e professionali, saranno messi a disposizione in un apposito spazio nel sito dell'Anas e alla fine dell'operazione di raccolta e di rielaborazione verranno presentati nella loro forma definitiva.

Scorrendo i dati che annualmente l'Istat pubblica sulle spese delle Amministrazioni pubbliche, si può rilevare che nel periodo 1999-2008 i costi dell'istruzione (dell'Amministrazione centrale e di quelle periferiche) che nel 1999 erano stati complessivamente pari a 52.453 milioni di euro, nel 2008 hanno toccato i 70.067 milioni, con un incremento del 33,6%. Un aumento fisiologico, se si considera l'inflazione, ben lontano da quello ad esempio dei rimborsi ai partiti. Non solo: l'incidenza della spesa per l'istruzione sulla spesa pubblica totale è scesa nello stesso periodo dal 9,7% del 1999 al 9% del 2008.

In lento miglioramento, il fenomeno della dispersione scolastica – ripetute bocciature, frequenza discontinua, cambi di classe o scuola, fino all'estrema decisione da parte di ragazzi e ragazze appena adolescenti di abbandonare la scuola superiore e qualsiasi opportunità di formazione, anche professionale – persiste in Italia e nel Lazio, con cifre non da ultimi della classe ma da penultimi sì.

Sono oltre 800.000 - di cui il 60% maschi - i giovani con esperienza di abbandono scolastico precoce. Sono pari al 18,8% della popolazione fra i 18 e i 24 anni, percentuale che ci pone a quasi 9 punti di distanza dall'obiettivo del 10% di tasso di abbandono scolastico adottata nella Strategia Europa 2020. E anche a una discreta distanza dall'attuale media europea del 14,4%.

Per quanto riguarda la dimensione regionale del fenomeno, i tassi più elevati di dispersione scolastica si registrano in Sardegna e Sicilia (rispettivamente con 8,3% e 6,6% di dispersione nella scuola superiore). Il Lazio si attesta al 5,5% - pari ad un totale di oltre 14.000 tra interruzioni formalizzate e abbandoni - al di sopra della media italiana che è di 4,7%. La dispersione è un problema molto serio che non segnala soltanto una difficoltà scolastica del minore ma un suo disagio più vasto che riguarda spesso anche l'ambiente sociale e familiare in cui vive. L'insuccesso scolastico può innescare una serie di conseguenze negative sul presente e futuro del ragazzo o ragazza, che si ritrova con un bagaglio di competenze, strumenti, capacità spesso inadeguati a fronteggiare un mercato del lavoro sempre più difficile e la complessità della vita, magari in un contesto urbano.

L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze: un'analisi semiotica delle rappresentazioni della materia e delle sue trasformazioni.

Ezio Roletto*, Alberto Regis*, Mohamed Soudani#, Olfa Soudani#

*Gruppo SENDS (Storia ed Epistemologia per una Nuova Didattica delle Scienze) – Università di Torino
(ezio.roletto@unito.it)

#LEPS –LIRDHIST, Università Claude Bernard, Lyon, Francia

Riassunto

In questo articolo viene presentata un'analisi semio-epistemologica della storia della modellizzazione della materia e delle sue trasformazioni, in particolare nel periodo fine XVIII - inizio XX secolo. Facendo ricorso alla teoria semiotica di Peirce, si intende mostrare il ruolo giocato in questo processo dal segno iconico; inteso non come strumento di un pensiero ancora incerto e quindi ormai inutile, ma piuttosto come strumento euristico privilegiato mediante il quale i chimici hanno esplorato la materia. Interrogarsi sul ruolo giocato da tale segno nell'evoluzione del pensiero chimico, porta a considerare la storia della chimica in una nuova prospettiva, rendendola un vero laboratorio per la didattica. Il segno iconico risulta così essere non un ausilio didattico semplificatore, ma uno strumento oggi indispensabile agli allievi, come ieri lo fu agli scienziati, per accedere alla realtà microscopica, muovendo dagli stessi problemi scientifici.

Abstract

In this article we present a semiotic and epistemological analysis of the historical evolution of the modelization of matter and of its transformations by means of graphical signs, mainly focusing on the period that goes from the end of XVIIIth to the beginning of XXth century. Taking advantage of the Peirces's theory of signs, we show the role played by the iconic sign in the modelization process. In particular we argue that iconic sign is not the rough instrument of a prescientific thought; it rather represents the privileged heuristic device used by chemists in the exploration of the structure of matter. Focusing on the role played by iconic signs in the evolution of chemical thought allows to conceive the history of chemistry as a veritable laboratory for teaching chemistry through a problem-based approach. In such a perspective, we reject the conception of iconic sign as a primitive teaching aid, employed to simplify a complicated topic; it rather turns out to be the most suitable device available to students of the present days to accede to the microscopic level of matter, as much useful to them as it was to scientists in the past, within a teaching strategy that moves from the same scientific problems that those scientists have faced.

1 – INTRODUZIONE

Fin dai primi anni della scuola secondaria, l'insegnamento delle scienze prevede di introdurre lo studio delle trasformazioni della materia e la loro interpretazione. Quasi sempre gli allievi sono chiamati ad accettare quanto afferma l'insegnante, il quale propone di primo acchito i modelli di base della chimica, ossia il modello atomico e quello molecolare e i concetti ad essi connessi. L'allievo viene così sottoposto a una brutale e acritica "immersione microscopica", con il rischio di bloccare la sua mente proprio quando si pensa di favorire lo sviluppo di un atteggiamento scientifico. In genere, questo approccio segna l'avvio di un processo che porta la maggior parte degli allievi a ritenere che « la chimica sia impossibile da capire e consista in una serie mostruosa di nozioni astruse da imparare solo a memoria» [1]

I ricercatori in didattica hanno compreso [2] la necessità di proporre approcci nuovi all'insegnamento dei contenuti fondamentali della chimica di base, approcci in grado di portare gli allievi alla comprensione di tali contenuti, premessa indispensabile per sviluppare competenze. In particolare, alcuni propongono un approccio denominato *problem based learning* oppure *problem based teaching* [3] in cui l'allievo viene guidato a costruire il proprio sapere con un modo di procedere analogo a quello adottato dai ricercatori per generare nuovo sapere scientifico. Grazie alle svariate ricerche sull'educazione alle scienze, è oggi opinione diffusa che, fin dall'inizio del loro studio, gli allievi sono in grado di impegnarsi in attività scientifiche di modellizzazione, e di dare vita a discussioni scientifiche tra pari nelle quali essi argomentano i propri punti di vista sia teorici sia sperimentali facendo così evolvere collettivamente le loro conoscenze. Si tratta di modi di lavorare classificati come socio-costruttivistici che assomigliano al modo di lavorare degli scienziati. Essi infatti permettono a ogni attore (scienziato in un caso, allievo nell'altro) di costruire conoscenze, affrontando individualmente e collettivamente problemi scientifici la cui soluzione richiede l'elaborazione e la discussione di idee e il confronto di risultati. In questo modo, gli allievi hanno la possibilità di apprendere i concetti e i modelli della chimica e, contemporaneamente, di capire come lavorano i ricercatori, nonché di comprendere lo statuto evolutivo del sapere

L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze

scientifico. D'altra parte, vi è chi ritiene opportuno [4] ricorrere alla storia della disciplina come fonte d'ispirazione per ricavare problemi scientifici su cui impostare le sequenze didattiche.

2 – STORIA, EPISTEMOLOGIA E DIDATTICA

L'apprendimento della chimica risulta particolarmente difficile perché le sostanze e le loro trasformazioni possono essere descritte sia a livello macroscopico sia a livello microscopico e l'allievo, come lo scienziato, deve operare un continuo va-e-vieni tra i due livelli, mantenendoli tuttavia nettamente distinti ed evitando accuratamente di confonderli. La spiegazione dei fatti empirici percepibili facendo ricorso a un mondo di entità infinitamente piccole, invisibili, è fonte di grandi difficoltà per l'insegnamento e l'apprendimento della chimica. Da più di un secolo [5], si ritiene che tali difficoltà potrebbero essere più facilmente superate introducendo la storia della chimica nel suo insegnamento, il che permetterebbe di adeguare quest'ultimo al processo di costruzione del sapere disciplinare, facilitando il progressivo addentrarsi degli allievi nella sua comprensione.

Già Stanislao Cannizzaro [6] scriveva nel 1854: «Per condurre i miei allievi al medesimo convincimento che io ho, gli ho voluti porre sulla medesima strada per la quale io ci son giunto, cioè per l'esame storico delle teorie chimiche. Lo scopo dell'insegnamento chimico... non è solo di confidare alla memoria degli studenti un certo numero di conoscenze ... (positive), ma ancora di cooperare alla loro sana educazione intellettuale».

Il punto di vista di Cannizzaro è stato ripreso da altri studiosi tra cui Ernst Mach e Pierre Duhem per la fisica, Ernst Mayr per la biologia. Più recentemente, molti ricercatori [7] hanno cercato di spiegare perché la storia della chimica può migliorarne l'insegnamento e l'apprendimento. Quattro sono le ragioni principali che emergono dai loro lavori:

- La ricerca storica sullo sviluppo della chimica permetterebbe di chiarire i processi d'evoluzione dei concetti chimici, mettendo in evidenza i problemi che gli scienziati dovettero affrontare e come pervennero a superarli. In questo modo si forniscono indicazioni su una questione epistemologica molto importante relativa al «come conosciamo».
- La conoscenza storica dello sviluppo della chimica può aiutare a comprendere le difficoltà d'apprendimento e le concezioni alternative degli allievi
- Attraverso un percorso storico gli allievi possono comprendere la natura della chimica in quanto scienza contemporaneamente teorica e sperimentale.
- La conoscenza della storia della chimica permette agli insegnanti di disporre di problemi interessanti su cui impostare il proprio insegnamento, e di conseguenza progettare sequenze d'apprendimento efficaci.

Come sostiene Matthews [4] «*Nell'insegnamento delle scienze, la dimensione storica e filosofica non deve tradursi in un mole maggiore di cose da conoscere, ma promuovere la conoscenza di problemi interessanti e importanti e l'interesse per la loro soluzione*».

Storia e didattica della chimica: quale relazione?

Se si ammette che possa essere utile, da un punto di vista educativo, ricorrere alla storia delle scienze nel loro insegnamento, si deve pure tenere presente che a scuola non si riproduce la storia: ossia si deve distinguere nettamente la storia delle scienze dal ruolo della storia nella didattica delle scienze. Due sono gli approcci [4] con cui si è finora affrontato il problema del ricorso alla storia di una disciplina nel suo insegnamento. Quello più comunemente adottato consiste nel considerare il ricorso alla storia come qualcosa che si aggiunge ai saperi che costituiscono il nocciolo dell'apprendimento. Questo approccio, definito “minimalista”, consiste, in genere:

- Nel presentare uno sfondo storico a soggetti contemporanei (per esempio, accompagnare le idee più recenti su un determinato problema con una cronologia delle “scoperte scientifiche”).
- Nel redigere un breve profilo biografico di illustri scienziati.
- Nel citare qualche aneddoto, sovente leggendario (la vasca da bagno di Archimede, la mela di Newton, il serpente di Kekulé, ecc.).

Si tratta di riferimenti superficiali con i quali si *introducono* elementi di storia nell'insegnamento di una disciplina scientifica, però senza operare una riflessione adeguata sulla loro finalità. Un altro approccio, che si potrebbe qualificare come “massimalista”, mira a *integrare* la storia nell'insegnamento di una disciplina, che viene di fatto organizzato su basi storiche. Questo secondo approccio è senz'altro troppo complesso per diventare pratica abituale degli insegnanti.

Per trovare una risposta soddisfacente al problema della relazione tra la storia delle scienze e il loro insegnamento, conviene partire dalla struttura didattica e analizzare le relazioni che ogni componente – allievo, sapere, insegnante – intrattiene con la storia delle scienze. La riflessione può dunque essere sviluppata su tre filoni: [8]

1. Storia del pensiero scientifico e studio delle concezioni alternative degli allievi.
2. Storia della scienza, epistemologia applicata e costruzione dei contenuti di apprendimento.
3. Storia della scienza e formazione degli insegnanti.

La nostra ricerca si inserisce nella seconda opzione e ha come fondamento la convinzione che i modelli e le attività di modellizzazione offrono una base pertinente per fare a scuola dell'epistemologia applicata e quindi concorrere all'educazione scientifica degli allievi. Si tratta di un intervento di ingegneria didattica, basato sulla storia e l'epistemologia della chimica della prima metà del XIX secolo in cui si utilizza una traccia storica per organizzare l'insegnamento/apprendimento di contenuti disciplinari. In tale intervento, lo sviluppo storico è integrato, fin dall'inizio dell'insegnamento della chimica, nella (ri)costruzione del sapere da parte degli allievi. In altri termini, si usano i materiali storici come risorse didattiche con le quali progettare percorsi di apprendimento che non solo sfociano nell'acquisizione di conoscenze disciplinari, ma che portano anche gli allievi a familiarizzare con i problemi affrontati dagli scienziati, gli oggetti mentali da loro inventati e i loro modi di ragionare.

Questo articolo è relativo al primo stadio della nostra ricerca, che consiste nell'analisi del processo di modellizzazione della materia e delle sue trasformazioni – costruzione dei concetti di atomo e molecola e dei modelli atomico e molecolare – da parte degli scienziati tra la fine del XVIII e l'inizio del XX secolo. Facendo ricorso alla teoria del segno di Peirce¹ [9], si è condotta un'analisi epistemologica che costituisce il fondamento di un intervento di ingegneria didattica per la progettazione di sequenze di insegnamento-apprendimento di tali contenuti nella scuola secondaria di secondo grado. I risultati della sperimentazione delle sequenze saranno presentati in articoli successivi.

3 – L'EPISTEMOLOGIA SEMIOTICA DI PEIRCE

Peirce sostiene che ogni rapporto che l'essere umano ha con il mondo è sempre frutto di un'interpretazione. La scienza è un processo di conoscenza oggettivo nel suo modo di indagare il mondo materiale, e produce conoscenza di una realtà dotata di esistenza indipendente. Le apparenze sensibili non coincidono con la realtà, ma ce ne forniscono solo una rappresentazione: «State in guardia dall'assumere qualcosa come vero perché sembra verosimile o ovvio, perché questa è la grande fonte di tutte le delusioni». La natura delle cose del mondo è di essere un segno, una provocazione per una risposta. Lo scopo primario del pensiero non è quello di *salvare le apparenze*, ma piuttosto di comprendere il mondo reale, di trovare qualcosa di sconosciuto a partire da ciò che è conosciuto; al di là delle apparenze, ossia delle impressioni sensoriali, esistono entità la cui presupposizione e conoscenza risulta indispensabile per l'effettiva comprensione del mondo materiale. Peirce definisce il reale come «ciò i cui caratteri sono indipendenti da quello che chiunque può pensare che essi siano» ed esplicita con queste parole il suo pensiero a proposito della relazione tra realtà e verità scientifica: «In tutte le ricerche scientifiche, menti diverse possono partire da punti di vista anche i più antagonisti, ma il progresso dell'indagine le porterà, in virtù di una forza esterna a loro stesse, alla stessa conclusione [...] L'opinione sulla quale da ultimo si troveranno d'accordo tutti coloro che indagano è ciò che intendiamo per verità e l'oggetto rappresentato in questa opinione è il reale. Questo è il modo in cui io spiegherei la realtà». La scienza è quindi un processo continuo di interpretazione e «la verità tende a coincidere con la realtà stessa così come essa sarà svelata da una ricerca idealmente universale compiuta da tutta la comunità scientifica».

Peirce ritiene che la radice dell'epistemologia, ossia della riflessione sulla natura della conoscenza scientifica, sia da ricercare nella semiotica, dottrina della natura essenziale e delle varietà fondamentali di ogni possibile semiosi.

«Per semiosi intendo un'azione o un'influenza che è o implica una cooperazione di tre soggetti: un segno, il suo oggetto e il suo interpretante, dove questa influenza tri-relativa non è in alcun modo risolvibile in azioni tra coppie. [Invece] tutte le azioni dinamiche, o azioni di forza bruta, fisiche o psichiche, o hanno luogo tra due soggetti o, in ogni caso, sono la risultante di queste azioni fra coppie».

Tutto ciò che viene pensato – oggetto, concetto o idea – incorre nello stesso processo semiotico e cognitivo. La pertinenza della teoria semiotica di Peirce per la didattica della fisica e della chimica è stata recentemente riconosciuta da svariati ricercatori. [10, 11]

I tre elementi della semiosi di Peirce

Peirce definisce un segno come «una cosa che rappresenta una seconda cosa a una terza cosa, il pensiero interpretante»: i segni sono quindi costituiti da tre parti interrelate: un *segno*, un *oggetto*, un *interpretante* (trittico OSI). Si può intendere il segno come un *significante*: per esempio, una parola, un'espressione, il fumo come segno del fuoco, ecc.; per oggetto si può intendere qualunque cosa venga *significato*: per esempio l'oggetto al quale si riferisce la parola, il fuoco segnalato dal fumo; l'interpretante va inteso come il *modo di comprendere* la relazione segno/oggetto.

Perché qualcosa sia un segno deve rappresentare qualche cosa d'altro chiamato oggetto; questi due elementi non potrebbero essere messi in relazione fra di loro se non vi fosse un terzo elemento, l'interpretante il quale fa conoscere qualcosa di nuovo. Secondo Peirce, il “significato” è una relazione triadica tra un segno, un oggetto e un interpretante. (Figura 1) Questa relazione triadica non è riducibile a relazioni diadiche tra un segno e un oggetto oppure tra un oggetto e un interpretante.

1. Charles Peirce (1839-1914), chimico, matematico e filosofo statunitense.



Figura 1 – Il triangolo semiotico di Peirce

Si è detto sopra che i segni sono costituiti da tre elementi: un segno, un oggetto, un interpretante. È evidente che questa affermazione dà adito a una certa confusione terminologica che richiede qualche precisazione. Peirce afferma che non tutti gli aspetti di un segno lo rendono significativo, ma soltanto una loro parte che egli denomina *representamen*: si tratta del segno “purificato”, ossia ridotto a quegli elementi essenziali che gli permettono di funzionare come significativo.

Si consideri, per esempio, un mucchietto di terra in un prato come segno delle talpe [12]. Non tutte le caratteristiche del mucchietto hanno importanza per significare la presenza di talpe. Il colore del mucchietto non gioca alcun ruolo: esso infatti varia in funzione della natura del terreno. Analogamente, non hanno importanza le sue dimensioni, dato che dipendono dalla taglia della talpa che lo produce: né il colore del mucchietto né le sue dimensioni lo rendono significativo. Ciò che ha realmente importanza è la relazione causale esistente tra il tipo di collinetta che si trova nei prati e le talpe: dato che le talpe producono mucchietti di terra, i mucchietti di terra significano – ossia sono un segno di – talpe. Di conseguenza, per un mucchietto di terra ciò che maggiormente conta per significare la talpa è l'interrelazione fisica tra mucchietto e talpa: l'elemento significativo di un segno, il suo *representamen*, è proprio questo “segno qualificato”.

Il segno determina un interpretante focalizzando la nostra comprensione su alcune caratteristiche della relazione significativa tra segno e oggetto: «Il *representamen* è determinato dall'oggetto *relativamente all'interpretante*, e determina l'interpretante *in riferimento all'oggetto*, in maniera tale da causare la determinazione dell'interpretante da parte dell'oggetto attraverso la mediazione di questo segno». La nostra capacità di comprendere un segno ci permette di ricavare informazioni, mediante il ragionamento *deduttivo*, oppure di avanzare congetture, mediante il ragionamento *abduittivo*.

La connessione tra l'oggetto e il *representamen* è individuata da tre tipi di rappresentazioni: *icona*, *indice*, *simbolo*. L'*icona* o *somiglianza* è una rappresentazione che ha una relazione di somiglianza o di analogia con l'oggetto che rappresenta, in quanto ha in comune con questo qualche qualità: «[Essa] svolge la sua funzione di *representamen* in virtù di un carattere che possiede in se stessa e che possiederebbe allo stesso modo anche se il soggetto non esistesse. Ne sono esempi un'immagine, un grafo. Per esempio, è vero che la statua del centauro non sarebbe un *representamen* se il centauro non esistesse. Se rappresenta un centauro, però, lo fa grazie alla sua forma; e avrebbe la stessa forma anche se il centauro non esistesse». In effetti, il centauro non esiste come oggetto sensibile, esiste come oggetto pensato. La forma della statua del centauro rappresenta (*representamen*) il centauro così come viene pensato (e descritto).

L'*indice* è un segno che si riferisce all'oggetto che esso denota, in virtù del fatto che è realmente determinato da quell'oggetto, con il quale ha una relazione che consiste in una corrispondenza di fatto. L'indice soddisfa la funzione di *representamen* grazie a un carattere che non potrebbe avere se il suo oggetto non esistesse. Per esempio, sono indici la firma, la fotografia e l'impronta digitale; le pulsazioni rapide sono sintomi (indice) di febbre, il fumo è un indice del fuoco, lo sviluppo di un gas o il cambiamento di colore sono indici di una trasformazione chimica.

Il *simbolo* è una rappresentazione di natura arbitraria che «svolge la sua funzione esclusivamente perché è interpretato come *representamen*, indipendentemente da ogni similarità o analogia con il suo oggetto o da ogni connessione fattuale». È il caso delle parole in generale: la parola “gatto” non ha alcuna relazione, né grafica né fonetica con l'animale che essa designa. È pure il caso del linguaggio simbolico della chimica, dove i simboli non hanno alcuna relazione con le caratteristiche delle entità chimiche che essi rappresentano. I segni simbolici richiedono l'apprendimento di codici, di convenzioni di scrittura e di lettura per essere usati in modo appropriato.

Peirce chiama *interpretante* quel segno mentale, quel pensiero, quella rappresentazione che funge da mediazione soggettiva fra il *representamen* e l'oggetto. Per conoscere il significato di un segno, occorre affidarsi a un altro segno che lo interpreta. L'*interpretante* è ciò che, per la sua funzione, collega il segno e l'oggetto e permette di affermare: questo è segno di quello, questo significa quest'altro. Per chiarire il proprio pensiero, Peirce propone questa situazione: il rossore sulle guance è il segno della febbre per il medico. Sono qui presenti i tre poli della semiotica di Peirce: il «*representamen*», è il rossore; l'oggetto è la febbre; l'interpretante è il sapere medico che interpreta il rossore come segno della febbre. Il segno è tradotto in un oggetto (concreto o astratto) mediante un passaggio mentale, frutto dell'esperienza individuale, chiamato interpretante e inteso come un segno prodotto dalla nostra mente in reazione alla percezione del primo segno.

Non si deve confondere l'interpretante con l'interprete. Nelle interpretazioni che ogni persona costruisce, si manifesta certamente il *modo di interpretare* (interpretante) di quella persona (interprete), ossia le opinioni che l'interprete possiede in modo più o meno consapevole: nell'esempio sopra citato, l'interprete è il medico. Però per Peirce l'interpretante è un sistema costituito di segni, una cultura definita, un modo di interpretare le cose proprio di un determinato tempo, di una cultura, di una civiltà. Senza segno interpretante, afferma Peirce, non ci sarebbe conoscenza. Definire il sistema interpretante implica dunque il ricorso ad altri segni: Peirce arriva così a un concetto di significato del segno che porta a una semiosi illimitata, vale a dire a un processo di significazione del segno che continua a riprodursi.

La logica abduktiva

Secondo Peirce, il pensiero ha origine da una posizione di «credenza» quando questa viene smossa a causa del presentarsi di un dubbio, ossia di fronte a un evento polemico oppure a una situazione problematica. Il fine del pensiero è di raggiungere un'altra credenza nella quale il dubbio sia rimosso e si sia di nuovo messi in grado di agire secondo un abito razionale. *Dubbio e credenza* sono parole comunemente usate per riferirsi a discussioni di argomento religioso o in qualche modo metafisico. Peirce le usa per designare l'inizio di una qualsiasi questione, non importa se grande o piccola, e la sua risoluzione. La credenza ha queste tre caratteristiche:

1. È qualcosa di cui ci rendiamo conto.
2. Acquieta l'irritazione del dubbio.
3. Implica lo stabilirsi nella nostra natura di una *regola d'azione o abito* (modo di agire).

Secondo la logica tradizionale, i modi classici del ragionamento sono l'induzione e la deduzione. L'induzione consiste nell'assumere ciò che è vero per alcuni casi e nell'estenderlo a tutti i casi. Il ragionamento induttivo non può mai pervenire a una certezza assoluta perché non può mai esercitarsi sulla totalità dei casi. La deduzione è il processo contrario: parte da una premessa generale e ne trae le conclusioni logiche. Questi due modi di ragionare possono essere illustrati da due esempi molto semplici: se una persona conosce unicamente cigni di colore bianco, applicando il ragionamento induttivo dirà che tutti i cigni sono bianchi. Questa generalizzazione è valida fino a quando la persona non incontra un cigno di colore nero. Un esempio di ragionamento deduttivo è il seguente: Tutti gli esseri umani sono mortali; Paolo è un essere umano; Paolo è mortale.

Peirce sostiene che questi due modi di ragionare non solo non sono sufficienti per spiegare il funzionamento del pensiero, ma non sono neanche fondamentali; la mente umana non ragiona al suo inizio né induttivamente né deduttivamente. La sua potenza risiede nello stabilire che cosa è plausibile, che cosa è ragionevole, che cosa è probabile: il vero ragionamento fondamentale è quello che Peirce chiama «abduktivo». «La deduzione prova che qualcosa *deve* essere, l'induzione mostra che qualcosa è *attualmente* operativo, l'abduzione suggerisce soltanto che qualcosa *potrebbe essere*». L'abduzione è un processo che permette di generare nuove ipotesi, quando quelle disponibili sembrano non funzionare, derivando dall'effetto la causa probabile; per Peirce è proprio «grazie all'abduzione se c'è qualche possibilità di imparare qualcosa o di capire i fenomeni. L'abduzione è l'unico processo con il quale un argomento nuovo può essere introdotto nel pensiero».

Il modo di procedere può essere schematizzato in questo modo: si parte da un fatto F che risulta sorprendente in relazione a una teoria TE esistente. Basandosi sul sapere a disposizione, si avanza l'ipotesi che esista una teoria TA, diversa da TE, la quale, se fosse vera, renderebbe l'evento F del tutto plausibile; in questo modo, F non è più un fatto sorprendente e la teoria TA si rafforza. La nuova teoria TA viene posta come ipotesi e il suo carattere congetturale si mantiene nella conclusione, la quale conserva una forma ipotetica. Secondo Peirce così ragiona l'essere umano: con questo tipo di ragionamento gli scienziati costruiscono le ipotesi interpretative del mondo empirico.

Le attività di modellizzazione

Nel circuito della semiosi, il primo posto spetta al mondo materiale: il punto di partenza è l'oggetto che costituisce il primo motore della semiosi. La relazione triadica (segno – oggetto – interpretante) può essere applicata in modo particolarmente efficace alla modellizzazione della materia in chimica, processo nel quale ci si interroga su qualche cosa che non si vede e di cui si può immaginare l'esistenza grazie ad altri segni, in particolare gli indici, ossia le evidenze empiriche che permettono di «farsi un'idea» sulla natura del mondo.

Peirce sostiene che un'idea può essere comunicata direttamente soltanto mediante un segno che permette di ragionare su ciò che è possibile. L'approccio semiotico porta a distinguere le rappresentazioni mentali dalle rappresentazioni semiotiche: [13]

«Le rappresentazioni mentali sono l'insieme delle immagini mentali o delle concezioni che un individuo può avere su un oggetto o su una situazione, e su ciò che è loro associato. Le rappresentazioni semiotiche sono produzioni costituite con l'impiego di segni appartenenti a uno stesso sistema di rappresentazione (enunciato in lingua naturale, grafo, figura geometrica, formula algebrica). Tali rappresentazioni sembrano essere il mezzo mediante il quale un individuo può esternare le proprie rappresentazioni mentali, al fine di renderle visibili o accessibili ad altri».

L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze

Ne segue che la relazione triadica di Peirce permette di sfruttare nel lavoro di ingegneria didattica tutta la ricchezza epistemologica del processo di costruzione dei modelli atomico e molecolare della materia da parte dei chimici. In effetti, si conosce una situazione quando si è in grado di rappresentarla con un modello, essendo un modello un sistema di segni definiti in relazione tra di loro e quindi dotato di una sintassi, vale a dire di un insieme di regole.

I modelli scientifici sono prodotti dagli scienziati e, in generale, non sono il prodotto di un'unica persona che, con un colpo di genio, permetterebbe alla scienza di evolvere in modo subitaneo. In particolare, i modelli atomico e molecolare della materia occupano un posto chiave non solo nella storia della chimica, ma anche nel suo insegnamento. L'allievo al quale non viene data l'opportunità di comprendere e padroneggiare questi strumenti di base del pensiero chimico, incontrerà notevoli difficoltà a comprendere gli altri argomenti del corso di chimica. I modelli in oggetto sono l'esito di una lunga discussione, relativa al problema della corrispondenza fra un sistema di segni (struttura teorica) e una serie di evidenze empiriche, alla quale hanno partecipato svariati scienziati, sia chimici sia fisici. Nell'ambito delle attività di insegnamento-apprendimento, gli allievi dovrebbero essere impegnati in un processo progressivo di costruzione di questi strumenti interpretativi della struttura della materia e delle sue trasformazioni.

4 – LA STRUTTURA DELLA MATERIA E LE SUE TRASFORMAZIONI: DA LAVOISIER A CANNIZZARO

Nel corso dei secoli, i filosofi prima e gli scienziati poi si posero il problema di come rappresentare la struttura della materia e le sue trasformazioni. Questo problema è stato affrontato da due punti di vista, considerati contrapposti: un approccio macroscopico, basato sulle impressioni sensoriali e un approccio microscopico, basato sull'immaginazione di un meccanismo d'interazione fra particelle. Le interpretazioni proposte e l'evoluzione delle idee a esse relative possono essere analizzate alla luce della semiotica di Peirce, al fine di ricavare dalle soluzioni adottate nel corso della storia alcune considerazioni applicabili alla didattica della chimica.

4.1 – LAVOISIER E I SUOI ALLIEVI

Lavoisier fu fortemente influenzato dalle idee del filosofo Condillac, il quale era convinto che il progresso scientifico e il progresso linguistico si condizionassero a vicenda: «... i segni linguistici ... non solo agevolano la memoria, ma permettono il trapasso dalla sensazione alla riflessione e ci pongono in condizione di operare su nozioni altrimenti non determinabili» [14]. Nel 1787, facendo espresso riferimento a Condillac, Lavoisier scrisse nel suo *Traité de Chimie*: [15]

«Tre sono le cose da prendere in considerazione nella scienza fisica. La serie dei fatti che costituisce la scienza; le idee che richiamano i fatti; le parole che li esprimono. La parola deve fare nascere l'idea; l'idea deve dipingere il fatto; sono tre impronte dello stesso timbro. ... la perfezione della nomenclatura in chimica consiste nel rendere le idee e i fatti nella loro esatta verità».

Sono qui presenti i tre elementi della semiotica di Peirce: il fatto è l'*oggetto*; l'idea è l'*interpretante*; la parola è il *representamen* (simbolo). Lavoisier riteneva compito essenziale dello scienziato inventare vocaboli che aderiscono alle sostanze: per esempio, l'acido solforoso e l'acido solforico per designare due sostanze differenti costituite dagli stessi elementi. Egli non riteneva il segno iconico un componente essenziale della scienza chimica, e lo usò raramente. Per esempio, per illustrare l'interazione tra ferro e acido nitroso, in un primo tempo egli usò, per rappresentare la soluzione acquosa di acido nitroso (oggetto), il segno iconico $(\nabla \ominus +)$.

In seguito, per essere coerente con la sua concezione di composizione degli acidi, egli lo modificò integrandovi il segno \oplus del principio "ossigeno", dando così una nuova dimensione all'oggetto $(\nabla \oplus \Delta +)$.

Si può qui constatare che a un solo segno linguistico – acido nitroso – corrispondono due segni iconici che forniscono differenti informazioni. Come sostiene Peirce: «Dato un segno generale d'un oggetto, per ricavare una verità diversa da quella che esso manifesta esplicitamente, è necessario, in tutti i casi, sostituire questo segno con un'icona». Il segno iconico ha un valore euristico superiore a quello degli altri segni, in particolare di quelli linguistici, anche se questi gli devono essere associati. Ciò è dovuto al fatto che l'icona stabilisce una relazione di somiglianza tra il segno e l'oggetto: «L'icona serve come segno solamente e semplicemente esibendo la qualità che essa serve a significare».

In base alla concezione di Lavoisier della struttura della materia, si può dire che questi segni iconici non rappresentano una particella a livello microscopico. Infatti egli riteneva che la particella minima della materia coincidesse con il termine ultimo dell'analisi chimica, vale a dire una sostanza semplice e quindi un corpo macroscopico.

Gli allievi di Lavoisier

Nello stesso momento in cui Lavoisier proponeva il suo sistema di nomenclatura chimica², i suoi allievi Hassenfratz e Adet si resero conto che i segni linguistici da soli non sono sufficienti per dare un'idea delle sostanze che designano e si impegnarono a cercare:

2. Il frontespizio del *Metodo di nomenclatura chimica* reca la dizione: *Allegato un nuovo sistema di caratteri chimici consoni a questa nomenclatura.*

«...in quale modo devono essere fatti i caratteri chimici per poter sopperire a tutti i bisogni della scienza nello stato in cui essa si trova oggi». Un esempio che mostra tutta la portata della semiotica di Peirce e più particolarmente del segno iconico in quanto membro “attore” del trittico OSI, motore di ricerca e d’invenzione.

È vero che i segni iconici erano già stati usati dagli alchimisti, ma l’obiettivo dei due studiosi era ben diverso: [16]

«Servendoci dei caratteri in chimica, non dobbiamo proporci lo stesso scopo dei nostri predecessori. Questi cercavano in tutti i modi di celare le loro conoscenze ai non iniziati; al contrario noi dobbiamo fare tutti i nostri sforzi per diffonderle [...] Essi devono avere la stessa funzione dei caratteri dell’algebra che, designando le operazioni della mente necessarie in questa scienza, forniscono ai geometri di tutti i paesi i mezzi di intendersi. Questa considerazione è sufficiente per mostrare come sia necessario in chimica disporre di caratteri che siano comuni a tutti i chimici».

A questo fine essi inventarono nuovi caratteri (Figura 2) da usare in chimica, in modo che «determinati questi segni, non si tratti più che di variarli, in modo che applicati a ogni specie essi possano facilmente distinguerla dalle altre».

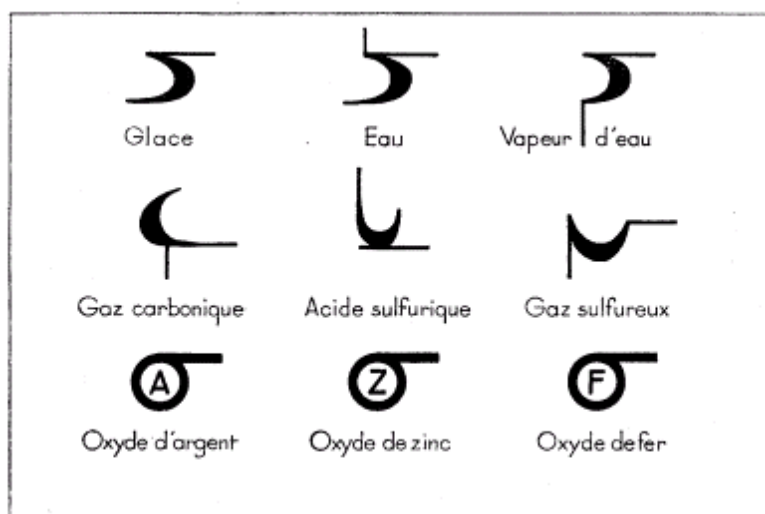


Figura 2 – Simboli proposti da Hassenfratz e Adet

I due studiosi erano ben consci dei problemi che dovevano fronteggiare i chimici per mettere a punto strumenti di comunicazione che permettessero di rendere comprensibili le conoscenze che essi stavano costruendo: «Dato il numero di sostanze semplici conosciute, e inoltre i rapporti principali che esse hanno tra di loro, quale tipo di caratteri dare loro, affinché combinati gli uni con gli altri, essi possano formare dei caratteri composti che indicano il numero e la natura delle sostanze semplici che entrano in un misto?».

La problematica di Hassenfratz e Adet incarna la semiotica di Peirce: le sostanze semplici e composte sono l’*oggetto*; i caratteri usati per rappresentare le sostanze semplici e quelle composte sono il *segno iconico*; la teoria dell’elemento di Lavoisier è l’*interpretante*. In seguito essi affrontarono un altro problema: «Quale deve essere la successione dei caratteri semplici che formano il carattere composto, di modo che i chimici possano, dall’analisi del carattere d’un misto, determinare il rapporto di quantità delle sostanze semplici che lo costituiscono?», proponendo il sistema di segni iconici della Figura 3. [16] Lavoisier, Berthollet e Fourcroy giudicarono il sistema di segni proposto da Hassenfratz e Adet «molto ingegnoso». Essi affermarono che non era loro intenzione valutare l’utilità di tali simboli in chimica, ma riconobbero che erano preferibili a quelli usati in precedenza. Questa considerazione viene interpretata da alcuni storici [17] come una riserva implicita sul loro valore pratico, come se l’invenzione dei simboli non fosse altro che un’esercitazione puramente accademica.

Nell’impostare le nostre ricerche con gli allievi ci siamo largamente ispirati alla problematica di Hassenfratz e Adet anche se i loro segni iconici non rappresentano particelle a livello microscopico, ma il termine ultimo dell’analisi chimica e quindi appartengono al registro macroscopico. Ciò non toglie che si tratti di un esempio molto chiaro della relazione triadica di cui l’icona è un pilastro.

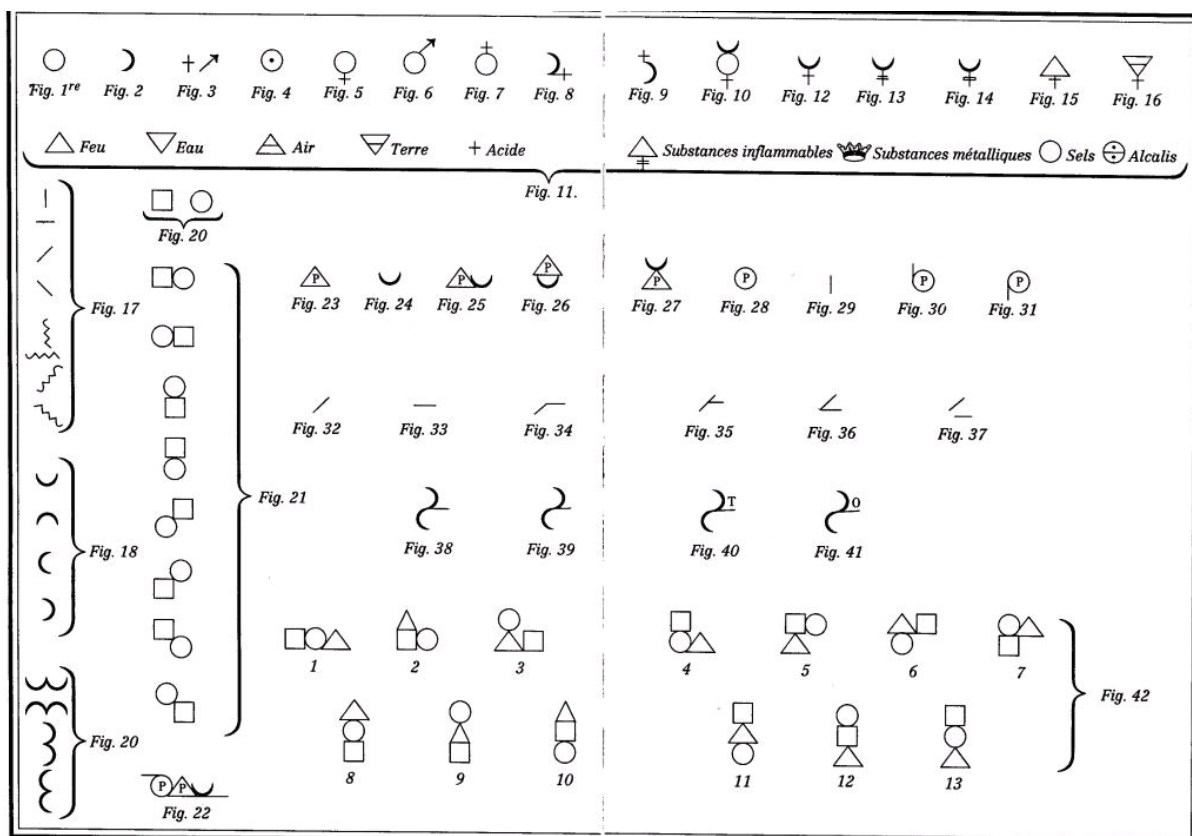


Figura 3 – Sistemi di segni iconici proposti da Hassenfratz et Adet per la combinazione chimica

4-2 – DALTON E GAY-LUSSAC

Dalton propose una spiegazione del visibile complicato mediante l'invisibile semplice. Egli elaborò un *New system of chemical philosophy*, un'ipotesi atomica a livello microscopico che prende le mosse dalla concezione filosofica della struttura discontinua della materia accoppiata con l'idea di elemento (sostanza semplice) elaborata da Lavoisier. Le idee di Dalton possono essere così riassunte:

- La materia è costituita da particelle estremamente piccole, indivisibili, indeformabili e indistruttibili, che egli chiama **atomi**.
- Ogni singolo elemento (sostanza semplice) è costituito da «atomi semplici» perfettamente uguali tra loro sotto tutti gli aspetti, compreso il peso – **peso atomico** (l'attuale massa atomica) – ma differenti dagli atomi di ogni altro elemento.
- Gli «atomi composti» delle sostanze composte sono formati dall'unione di due o più atomi semplici.

Egli espose chiaramente gli scopi che si proponeva: [18]

«A ragione, in tutte le ricerche chimiche si è considerato compito importante la determinazione del peso relativo delle sostanze semplici che costituiscono un composto. Purtroppo le ricerche si sono fermate a questo punto: infatti, dai pesi proporzionali nella massa si sarebbero potuti dedurre i pesi relativi delle ultime particelle o atomi dei corpi, da cui si sarebbe dedotto il loro numero o peso in altri composti. Ora uno degli scopi principali di quest'opera è mostrare l'importanza e il vantaggio della determinazione dei pesi relativi delle ultime particelle sia delle sostanze semplici sia di quelle composte, il numero delle particelle elementari semplici che formano una particella composta, e il numero di particelle meno complesse che entrano nella formazione di una particella più complessa».

Per rappresentare gli atomi composti, egli postulò una serie di regole arbitrarie, basate sul principio della massima semplicità:

- Se esiste una sola combinazione tra due corpi, si può supporre che sia binaria, a meno di indicazioni contrarie.
- Se esistono due combinazioni, si può pensare che siano l'una binaria e l'altra ternaria.
- Se esistono tre combinazioni, si può prevedere che siano una binaria e le altre due ternarie.
- Se esistono quattro combinazioni, si può prevedere che siano una binaria, due ternarie e una quaternaria, ecc.

Dalton propose anche i segni iconici per rappresentare gli atomi semplici e composti riportati in figura 4. Nella tabella 1 sono riportati i nomi di queste sostanze e i pesi relativi dei loro «atomi».

Ogni segno riportato in figura 4 veicola due significati: la qualità (natura) e la quantità (numero) delle particelle (atomi) che costituiscono la sostanza. Nella concezione di Dalton (il suo Interpretante) si trova l'idea che, nelle reazioni chimiche, gli atomi (semplici o composti) non subiscono nessuna alterazione, essendo indivisibili e indeformabili. Di conseguenza, gli atomi composti sono rappresentati accostando gli atomi semplici degli elementi costituenti; analogamente, l'atomo di zucchero (n. 37) risulta costituito da un atomo di acido carbonico (n. 28) e da un atomo di alcol (n. 33).

	Fig.		Fig.	
1	Hydrog. its rel. weight	1	11 Strontites	46
2	Azote	5	12 Barytes	68
3	Carbone or charcoal,	5	13 Iron	68
4	Oxygen	7	14 Zinc	56
5	Phosphorus	9	15 Copper	56
6	Sulphur	13	16 Lead	95
7	Magnesia	20	17 Silver	100
8	Line	23	18 Platina	100
9	Soda	28	19 Gold	140
10	Potash	42	20 Mercury	167
21.	An atom of water or steam, composed of 1 of oxygen and 1 of hydrogen, retained in physical contact by a strong affinity, and supposed to be surrounded by a common atmosphere of heat; its relative weight			8
22.	An atom of ammonia, composed of 1 of azote and 1 of hydrogen			6
23.	An atom of nitrous gas, composed of 1 of azote and 1 of oxygen			12
24.	An atom of olefiant gas, composed of 1 of carbone and 1 of hydrogen			6
25.	An atom of carbonic oxide composed of 1 of carbone and 1 of oxygen			12
26.	An atom of nitrous oxide, 2 azote + 1 oxygen			17
27.	An atom of nitric acid, 1 azote + 2 oxygen			19
28.	An atom of carbonic acid, 1 carbone + 2 oxygen			19
29.	An atom of carburetted hydrogen, 1 carbone + 2 hydrogen			7
30.	An atom of oxynitric acid, 1 azote + 3 oxygen			26
31.	An atom of sulphuric acid, 1 sulphur + 3 oxygen			34
32.	An atom of sulphuretted hydrogen, 1 sulphur + 3 hydrogen			16
33.	An atom of alcohol, 3 carbone + 1 hydrogen			16
34.	An atom of nitrous acid, 1 nitric acid + 1 nitrous gas			31
35.	An atom of acetous acid, 2 carbone + 2 water			26
36.	An atom of nitrate of ammonia, 1 nitric acid + 1 ammonia + 1 water			33
37.	An atom of sugar, 1 alcohol + 1 carbonic acid			35

Tabella 1 - Nomi delle sostanze e pesi relativi degli «atomi» riportati in figura 4

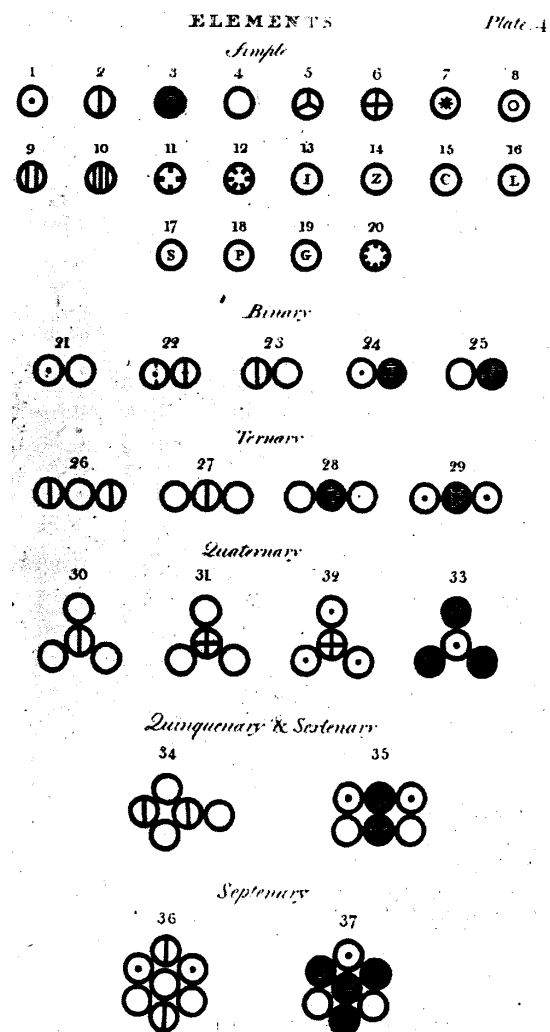


Figura 4 – I segni iconici proposti da Dalton

Dalton applicò le proprie concezioni ai dati sperimentali sulla composizione percentuale delle sostanze composte per calcolare i pesi atomici degli elementi. Però le sue idee furono messe in discussione dai dati volumetrici di Gay-Lussac (1809). Introducendo l'idea dell'atomo indivisibile, Dalton generò un ostacolo epistemologico che richiese circa mezzo secolo per essere superato; questo ostacolo è dovuto al fatto che il segno usato per rappresentare l'oggetto mancava di riferimento all'oggetto ovvero, come dice Peirce, non vi erano dati sperimentali che opponessero resistenza all'idea: tali dati vennero prodotti con gli esperimenti condotti da Gay-Lussac sulle combinazioni fra sostanze gassose.

Prima di tutto Gay-Lussac mise in evidenza che i gas, quando reagiscono fra di loro, si combinano sempre in proporzioni fisse e definite. Inoltre, mostrò che i volumi di gas diversi che prendono parte ad una reazione stanno tra loro in rapporti semplici, esprimibili con numeri interi piccoli; la stessa cosa vale per i volumi dei prodotti, quando questi sono gassosi. Ad esempio, per formare 2 volumi di vapore acqueo sono necessari 2 volumi di idrogeno e 1 di ossigeno; analogamente, per formare 2 volumi di ammoniaca sono necessari 1 volume di azoto e 3 di idrogeno.

L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze

La legge dei volumi venne formulata da Gay-Lussac in questi termini: «Le combinazioni delle sostanze gassose, le une con le altre, avvengono sempre nei rapporti più semplici, di modo che, indicando uno dei termini mediante l'unità, l'altro è 1, o 2 o tutt'al più 3». A questo proposito, egli scrisse: «Questi rapporti tra i volumi non si osservano affatto nel caso delle sostanze liquide o solide oppure quando si considerano i pesi, e sono una nuova prova che solo allo stato gassoso i corpi si trovano nelle stesse condizioni e presentano leggi regolari».

Tradotta nel linguaggio di Dalton, la teoria dei volumi applicata alla combinazione tra azoto e ossigeno dice che un atomo di ossigeno (O) si combina con un atomo di azoto (Ⓐ) per dare un atomo di gas nitroso (OⒶ), mentre i dati sperimentali di Gay-Lussac mostravano che combinando un volume di gas ossigeno e un volume di gas azoto si ottengono due volumi di gas nitroso (ossido d'azoto). Dalton non accettò mai i dati sperimentali di Gay-Lussac perché avrebbe dovuto ammettere la divisibilità degli atomi e quindi mettere in discussione il proprio modello.

Questo esempio è un «segno» per la didattica: esso insegna che un'ipotesi mediante la quale si può interpretare una determinata situazione sperimentale non può essere ritenuta generale e quindi assumere lo statuto di modello. Parimenti, non è perché un sistema di segni soddisfa il tritico OSI che lo si può ritenere sempre valido. La relazione ternaria del tritico è concepita per interrogare le relazioni binarie, prendendo come testimone il terzo componente e facendo ricorso al ragionamento abduttivo.

4-3 – AVOGADRO

Avogadro era convinto che «... vi sono anche dei rapporti semplici fra i volumi delle sostanze gassose e il numero delle molecole semplici o composte che le formano» e sosteneva che per rendere ragione della legge dei volumi, si doveva avanzare l'ipotesi che volumi eguali di gas diversi, alle stesse condizioni di temperatura e di pressione, contengono lo stesso numero di «molecole integranti»: «La prima ipotesi che si affaccia a questo riguardo, e che pare essere la sola ammissibile, è di supporre che il numero delle *molecole integranti* in qualunque gas è sempre lo stesso a volume uguale o sempre proporzionale ai volumi». [19] In altre parole, Avogadro ricorre a un ragionamento abduttivo per generare un'ipotesi: una relazione semplice e regolare tra i volumi di gas delle sostanze reagenti e dei prodotti (l'effetto che suggerisce che qualcosa potrebbe essere) può essere spiegata soltanto ammettendo che volumi uguali di gas diversi contengono lo stesso numero di particelle (questa sarebbe la causa probabile).

Inoltre, dato che le concezioni di Dalton non erano in grado di accordarsi con i fatti presentati da Gay-Lussac, egli introduce un'ipotesi che, se valesse, renderebbe tali fatti del tutto plausibili: le molecole dei gas sono complesse e, al momento della combinazione, si suddividono per produrre i volumi finali che si ottengono sperimentalmente. Come egli scrive: «[si può supporre che] le molecole costituenti d'un qualsiasi gas semplice non siano formate da una sola molecola elementare, ma risultino da un certo numero di queste molecole riunite in una sola per attrazione, chiamata *molecola integrante* che egli così definisce: «Io intendo per molecole integranti delle molecole che, anche per i corpi semplici, possono ancora essere composte da altrettante molecole parziali, ma molto più ravvicinate di quanto le molecole totali non lo siano tra loro allo stato gassoso e riunite da una attrazione che non può avere luogo fra queste ultime».

Con un ragionamento abduttivo, Avogadro propose un nuovo mondo possibile, immaginario che però non veniva dal nulla. Secondo la semiotica di Peirce, Avogadro propose come Interpretante un'idea suggerita dal sistema iconico di Dalton in relazione con le esperienze di Gay-Lussac. In queste ultime, i volumi costituiscono un *indice*, nel senso che si tratta di un segno che attira l'attenzione. Però, in assenza di un sistema interpretativo, questo indice non avrebbe detto niente. Un indice o, più in generale, un segno entra in una relazione semiotica solo grazie a un'esperienza collaterale dell'oggetto, ossia una certa familiarità preesistente con ciò che il segno denota e che contribuisce così a rendere intelligibile.

La seconda ipotesi di Avogadro produce due nuovi concetti, ossia due nuovi segni: molecola integrante, molecola elementare. In questo modo, sembra che sparisca il vocabolo atomo e l'idea di particella indivisibile: la confusione atomo/molecola viene evitata, ma non eliminata. Il sistema proposto da Avogadro è portatore di nuove relazioni e quindi di nuovi significati: infatti permette di mettere in relazione il registro macroscopico del volume dei gas (Gay-Lussac) con il registro microscopico delle molecole che lo costituiscono e del loro numero.

4-4 – GAUDIN E CANNIZZARO

Nel 1833, Marc Antoine Gaudin propose una sistematizzazione dei concetti, distinguendo la nozione di atomo da quella di molecola: «Stabiliamo dunque una distinzione ben netta tra le parole atomo e molecola [...] Un atomo sarà per noi un piccolo corpo sferoide omogeneo, o punto materiale essenzialmente indivisibile, mentre una molecola sarà un gruppo isolato di atomi, in qualsiasi numero e di qualsiasi natura». [20] Conformemente a questa definizione, Gaudin continua a utilizzare i segni iconici proposti da Dalton, anche se Berzelius (1819) ha già proposto la notazione dei simboli degli atomi oggi in uso. Infatti, utilizzando questi segni egli ha proposto, a livello microscopico, le rappresentazioni riportate in figura 5 [21].

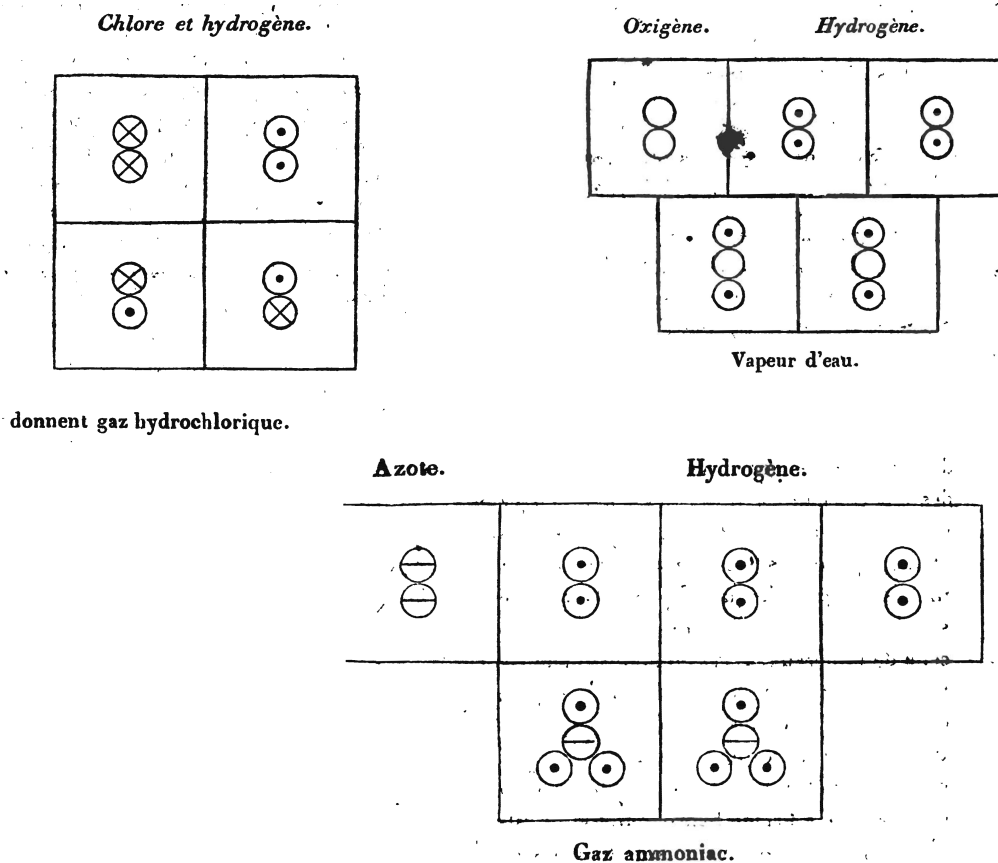


Figura 5 – Rappresentazioni iconiche proposte da Gaudin

Nonostante l'operatività e la plausibilità delle proposte di Gaudin, esse ebbero ben poco seguito presso i chimici dell'epoca, molti dei quali rifiutavano di accettare l'idea che l'atomo fosse un ente reale. Berthollet definì «molto ingegnosa» l'ipotesi di Dalton ma rifiutò di accettarla, come fece Lord Kelvin che ritenne questa «mostruosa ipotesi di Lucrezio, che pretende di spiegare tutte le proprietà della materia attribuendole all'atomo», una conseguenza della «superficialità dei chimici». Per parte sua, nel 1836 il chimico francese Jean-Baptiste Dumas affermava: [22]

«Se ne avessi l'autorità, cancellerei la parola atomo dalla scienza, essendo convinto che va oltre l'esperienza; in chimica non si deve mai andare oltre l'esperienza»

Nel 1858, Cannizzaro fu in grado di sistematizzare il sapere chimico sulla base dei seguenti principi:

1. Volumi eguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, contengono lo stesso numero di molecole.
2. La distinzione tra molecole e atomi – Le molecole sono costituite da atomi e l'atomo è definito come la più piccola parte di una sostanza semplice che può prendere parte a una reazione chimica.
3. Le molecole delle sostanze semplici contengono un numero di atomi che varia a seconda della sostanza stessa: ve ne sono di monoatomiche, biatomiche, triatomiche, tetraatomiche e così via.

In seguito, Mendeleev stabilì nuove relazioni triadiche OSI nelle quali il macroscopico e il microscopico si spiegano a vicenda, dando così senso ai concetti di sostanza semplice, molecola, atomo ed elemento, distinguendoli l'uno dall'altro: [23]

«La denominazione di sostanze semplici deve essere riservata a quelle contenenti soltanto un elemento qualunque, mentre composte devono essere chiamate quelle che ne contengono due o più [...] Le sostanze semplici, come tutti i corpi in natura, sono formate di particelle: tutta la loro differenza rispetto alle sostanze composte consiste unicamente nel fatto che le particelle di queste ultime contengono atomi eterogenei di due o più elementi, mentre quelle delle sostanze semplici soltanto atomi omogenei di un dato elemento [...] L'idea principale, con la quale si può giungere a spiegare la legge della periodicità, consiste proprio nella differenza radicale dei concetti di elemento e di sostanza semplice. [...] Gli elementi non vanno soggetti a varietà e trasformazioni reciproche e appaiono, stando almeno alle attuali risultanze, l'essenza immutabile di una sostanza che invece muta (sotto il profilo chimico, fisico e meccanico), essenza che entra a far parte sia dei corpi semplici sia di quelli composti. Questa concezione ci presenta gli elementi chimici come qualcosa di astratto, dato che non siamo in grado in particolare né di vederli, né di sapere alcunché relativamente ad essi».

5 – CONSIDERAZIONI FINALI

La prima metà del XIX secolo è ricca di insegnamenti dal punto di vista didattico, poiché essa corrisponde al contenuto d'insegnamento della chimica di base. L'evoluzione del sapere chimico in questo periodo illumina il percorso che dovrebbero percorrere gli allievi della scuola secondaria di secondo grado per pervenire a padroneggiare i concetti che entrano in gioco.

A PROPOSITO DELL'OSTACOLO EPISTEMOLOGICO

Dalton rigettò la validità sperimentale dei dati di Gay-Lussac, ritenendoli frutto di errate sperimentazioni: «In verità io credo che i gas non si combinino sempre in proporzioni uguali o esatte; quando sembrano comportarsi in tale modo, ciò è dovuto alla scarsa accuratezza dei nostri esperimenti». Gay-Lussac, da parte sua, era portato a diffidare dell'ipotesi atomica di Dalton perché questa era priva di evidenze sperimentali affidabili e quindi non cercò mai di usarla per interpretare i propri dati.

Dalton non ammetteva la relazione di proporzionalità tra volume di gas e numero di particelle, perché la sua concezione del calorico gli impediva di pensare che il numero di particelle in un determinato volume di gas potesse essere indipendente dalla natura del gas. [24] Inoltre, gli risultava difficile ammettere il vocabolario proposto da Avogadro – molecola elementare, molecola integrante – e le sue conseguenze: ciò avrebbe comportato ammettere che una sostanza semplice potesse essere formata da molecole (H_2 , O_2 , N_2 , ecc.) anch'esse divisibili in due o più parti. Però Dalton [25] concepiva la reazione chimica come semplice addizione di atomi e non come divisione delle molecole in parti e ricombinazione delle parti in modo diverso: «Supporre delle molecole composte da due molecole elementari, o atomi, sembrava scandaloso. I chimici potevano tranquillamente pensare gli edifici molecolari formati per unione attrattiva o affinità di due atomi differenti. Ma l'unione di due atomi simili in una molecola sembrava impossibile, inconcepibile...» I chimici si trovavano di fronte alla stessa realtà empirica ma questa poteva essere modellizzata in due modi diversi che a prima vista sembravano inconciliabili a causa degli ostacoli epistemologici cui essi dovevano fare fronte.

STATUTO RELATIVO DELL'ESPERIMENTO E DEL MODELLO

Analizzando le pubblicazioni di Dalton, Delacre [18] fa notare che da esse risulta che i fatti sperimentali avrebbero preceduto le considerazioni teoriche: l'ipotesi atomica sarebbe stata ricavata induttivamente dai rapporti in peso constatati nei carburi d'idrogeno e negli ossidi d'azoto. Al contrario, dagli appunti quotidiani di Dalton risulta che l'idea della struttura atomica delle sostanze e dei segni per rappresentarle era precedente ai dati sperimentali; egli invertì l'ordine delle cose, dando deliberatamente il primato all'esperimento. La mentalità empirista e positivista dell'epoca riteneva questa "idea" come una rappresentazione matematica, un'invenzione, uno strumento per pensare, senza alcuna relazione con i fatti; l'inversione risultava invece "in linea" con quello che era allora ritenuto il percorso scientifico d'elaborazione delle conoscenze. Delacre conclude che l'ipotesi atomica e i segni riportati in figura 4 devono essere considerati un'invenzione di Dalton e non il frutto di un ragionamento induttivo a partire da dati sperimentali.

Questi segni hanno ormai un significato del tutto nuovo nella scienza; essi differiscono radicalmente da quelli dell'alchimia che avevano soltanto il valore di una parola. Secondo la semiotica epistemologica di Peirce, i segni cabalistici dell'alchimia mancavano di un interpretante, un altro segno capace di dare loro una "terza dimensione"; questo avrebbe conferito all'insieme un carattere scientifico, permettendo una dinamica delle relazioni semiotiche e dunque l'evoluzione delle conoscenze.

I segni di Dalton non hanno solo il valore delle parole; essi «rappresentano un peso» e comportano anche un terzo significato: la composizione e dunque la "formula" delle sostanze semplici e composte, «sulle quali è provato che egli non ha mai condotto esperimenti». Il celebre principio attribuito a Lavoisier – nulla va perso, nulla viene creato... – assume un nuovo significato nella semiotica di Dalton il quale affermava: «Gli agenti chimici non hanno il potere né di creare né di distruggere la materia. Introdurre un nuovo pianeta nel sistema solare, o distruggerne uno già esistente, non sarebbe più difficile che creare o distruggere una particella d'idrogeno. Gli unici cambiamenti che siamo in grado di produrre sono o separare le particelle quando si trovano nello stato di combinazione o di coesione, oppure congiungere quelle che erano separate le une dalle altre». [18]

La manipolazione di questi segni aveva per Dalton un valore euristico ed era così ricca di implicazioni teoriche che i fatti sperimentali non risultavano necessari. La sua ipotesi atomica, benché a lungo contrastata, si è imposta perché nutrita di solidità semiotica e di logica matematica. Il suo sistema di segni non è soltanto una finzione, una specie d'immagine comoda, senza relazione alcuna con la realtà, come non è neppure una semplice combinazione matematica.

DALL'IPOTESI ALLA TEORIA

L'ipotesi atomica di Dalton è passata allo statuto di teoria perché si è attivato il principio di contraddizione. Da questa ipotesi, in "contraddizione" con i dati sperimentali, sono nate le due ipotesi di Avogadro e quel che ne è seguito. Esse costituiscono, secondo Peirce, delle spiegazioni e quindi un nuovo sistema di segni che implica una concatenazione di tritici OSI. Se non avessero avuto a disposizione il sistema di Dalton, le ipotesi di Avogadro, anche se oggi esse sembrano di una portata straordinaria, forse non avrebbero avuto alcuna risonanza per i chimici, ossia non avrebbero

probabilmente determinato alcun Interpretante. Il trittico OSI permette di formalizzare queste interrelazioni fra segni, come mostra la figura 6

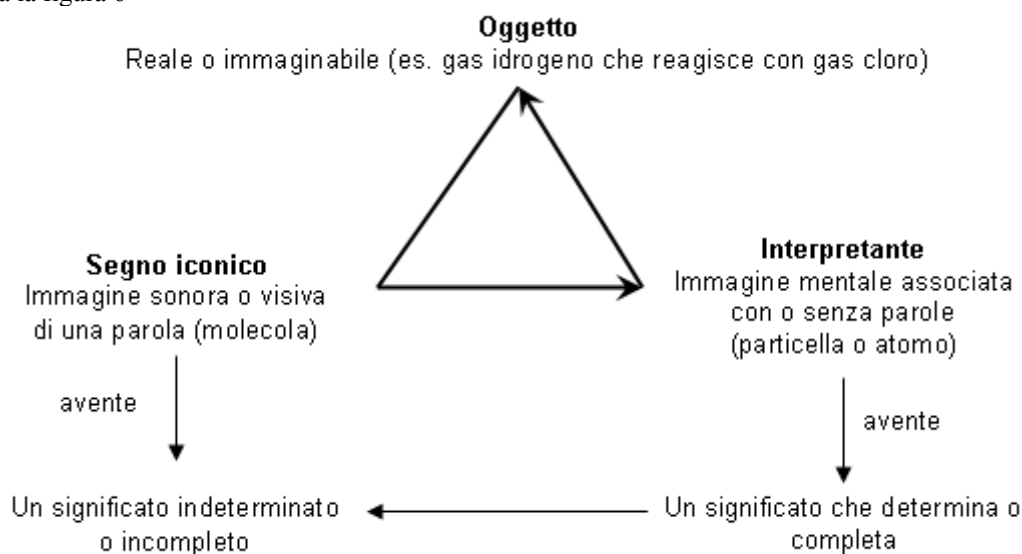


Figura 6 - Trittico OSI che riassume la semiotica di Peirce

Come risulta da questo schema, senza Interpretante (avente un determinato significato) non vi è segno iconico: molecola, costituita da atomi e in grado di spiegare le variazioni di volume. Il sistema dei segni iconici di Dalton, con le sue interpretazioni e implicazioni, ha costituito l'immagine concreta sulla quale si è innestato l'enunciato delle ipotesi di Avogadro nel corso di un processo lungo e costellato di conflitti di idee. Le spiegazioni di Avogadro hanno richiesto altri segni, altre spiegazioni che hanno portato a rivedere il sistema di Dalton. I due sistemi si compenetrano l'uno con l'altro, l'uno è l'interpretante dell'altro: «Il segno interpretante rinvia sintatticamente a un segno interpretante in una serie infinita d'interpretanti...». Così vengono generati nuovi interpretanti e l'insieme dei sistemi di segni diventa un sistema di segni più esteso. Quello di Dalton si è sviluppato per adattarsi ai risultati sperimentali e ad altre spiegazioni, quali le ipotesi di Avogadro, in modo da assumere lo statuto di modello, riferito a una parte limitata del reale: i sistemi chimici in fase gassosa. In seguito, il modello atomico di Dalton ha dovuto estendersi ulteriormente per adattarsi ad altri risultati sperimentali, per acquisire un carattere ancora più esteso, generale, capace di interpretare non solo i fenomeni chimici, ma anche una parte dei fenomeni fisici, acquisendo così gradualmente lo statuto di una teoria.

IMPLICAZIONI DIDATTICHE

Si sostiene oggi che la formazione dei giovani deve fare riferimento all'*approccio per competenze* basato sulla didattica laboratoriale: l'appropriazione del sapere scientifico da parte dell'allievo dipende essenzialmente dalla sua attività personale, dato che la competenza implica responsabilità e autonomia. È opportuno soffermarsi brevemente sulla nozione di "attività", sovente fonte di malintesi. Vergnaud et al. [26] ricordano che Piaget ha mostrato che l'attività di *manipolazione* di oggetti non gioca un ruolo decisivo nel processo di conoscenza; questo tipo d'attività, così come l'*osservazione*, non sono né una condizione necessaria, né una condizione sufficiente all'apprendimento, e questo d'altra parte è ormai largamente provato [27] per quanto attiene alla produzione del sapere scientifico. Larcher et al. [28] hanno potuto constatare, unitamente ad altri ricercatori, che non è possibile fare elaborare dagli allievi un modello particellare della materia a partire da attività sperimentali.

La tesi semiotica di Peirce porta a ritenere che il dato sperimentale giochi un ruolo importante a un livello più profondo, nella relazione dialettica tra un sistema di segni in continua costruzione-mutazione e l'oggetto che essi designano; quest'ultimo entra in queste relazioni, sia quando è concretamente presente, sia quando viene pensato. È il trittico OSI che funziona da motore del processo di significazione. Però si deve anche ricordare, come sottolinea Peirce, che la sola prova logica possibile di un'ipotesi arbitraria è la sperimentazione.

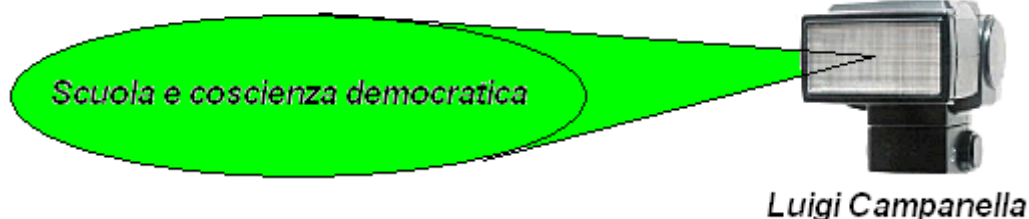
Questa analisi semiotica ed epistemologica consente di concepire il lavoro intellettuale degli allievi come un processo abducente di invenzione di ipotesi esplicative analogo a quello degli scienziati, naturalmente in un contesto ben diverso. Peirce afferma che «il segno non può fare conoscere né riconoscere l'oggetto» perché «la conoscenza è un presupposto per potere comunicare informazioni supplementari relative all'oggetto», il che richiama il trittico OSI. È ciò che succede al sistema di Dalton che viene proposto agli allievi come ipotesi: le conoscenze disponibili a livello empirico, per esempio i rapporti tra volumi nel caso di trasformazioni chimiche di gas, permettono agli allievi di costruire il modello di particella divisibile mediante il quale sono in grado di interpretare le trasformazioni chimiche.

L'approccio storico-epistemologico all'insegnamento delle scienze

Il quadro teorico adottato e l'analisi storica dell'evoluzione delle idee permettono di identificare gli ostacoli per anticiparli e soprattutto tenerne conto nella progettazione delle attività d'apprendimento. In assenza di tali riferimenti, c'è il pericolo che l'insegnamento generi ostacoli cognitivi insormontabili. Le sequenze che sono state progettate e sperimentate nel corso di alcuni anni e in scuole differenti permettono agli allievi di padroneggiare la struttura particellare della materia, di costruire la costituzione atomica delle molecole, di elaborare i primi rudimenti di calcolo stechiometrico, di comprendere la struttura dell'atomo e alcuni suoi modelli, sempre in riferimento ai problemi scientifici affrontati nel corso del tempo da chimici e fisici, ma adattati al contesto attuale degli allievi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fochi G., *Il segreto della chimica*, TEA, Milano, 2006
- [2] Lijnse, P., Didactics of science: the forgotten dimension of science education research. In R.Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education. The contribution of research*. Buckingham: Open University Press, 2000, pp. 308-326.
- [3] Hmelo-Silver C., Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, Vol. 16, No. 3, 2004, pp. 235-267
- [4] Matthews M., *Science Teaching: The role of history and philosophy in science*. Routledge, New York - London, 1994.
- [5] AA.VV. *Didactique et histoire des sciences*. Aster, n.5, I.N.R.P. Paris, 1987
- [6] Cannizzaro S., *La teoria atomica e molecolare* (a cura di Antonio Di Meo), Edizioni Teknos, Roma, 1994
- [7] Wandersee J., Griffard P., The History of Chemistry: Potential and Actual Contributions to Chemical Education. In J.K. Gilbert et al. (eds.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice*, Kluwer, Dordrecht, 2002, pp. 29-46.
- [8] Martinand J.L., Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations?, *Didaskalia*, n.2, 1993, pp. 89-99
- [9] Peirce C., *Scritti scelti*, UTET, Torino, 2005
- [10] Buty C., Peterfalvi B., Représentations graphiques dans l'enseignement scientifique et technologique, Aster, n. 48, I.N.R.P. Paris, 2009
- [11] Kozma R.; Elaine Chin E.; Russell J., Marx N. The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning. *Journal of the Learning Sciences*, Vol.9, n°2, 2000, p.105-143
- [12] Stanford Encyclopedia of Philosophy, <http://plato.stanford.edu/entries/peirce-semiotics>
- [13] Duval R., *Semiosis et pensée humaine*, Peter Lang, Berne, 1995
- [14] Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, Vol. 3, Garzanti, Milano, 1971
- [15] Laugier A., Dumon A., D'Aristotele à Mendeleïev. Plus de 2000 ans de symbolisme pour représenter la matière et ses transformations. *L'Actualité Chimique*, n. 3, 2001, pp 38-50,
- [16] Hassenfratz J.H., Adet P.A., *Méthode de nomenclature chimique*, Paris, 1787
- [17] Crosland M., *Historical studies in the language of chemistry*, Heinemann, London, 1962
- [18] Delacré M., *Histoire de la chimie*, Gauthiers-Villars, Paris 1920
- [19] Di Meo A., *Storia della chimica in Italia*. Theoria, Roma, 1989
- [20] Padeloup M., Laugier A., Le concept de réaction chimique en gestation. Entre les affinités électives et l'attraction universelle. Aster, n.14, 1994, pp.165-182.
- [21] Gaudin A. M., *Annales de Chimie et de Physique*, Paris, 1833
- [22] Scheidecker-Chevallier M., Le débat sur les atomes au XIX^{ème} siècle. In *La pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques*, Poitiers, 2003
- [23] Mendeleev D.I., *Il sistema periodico degli elementi*, a cura di S. Tagliabue, Edizioni Teknos, Roma, 1994
- [24] Scheidecker-Chevallier M., L'hypothèse d'Avogadro et d'Ampère: la distinction atome/molecole et la théorie de la combinaison chimique. *Revue d'Histoire des Sciences*, 50, pp. 159-194, 1997
- [25] Bensaude-Vincent B., Stengers I., *Histoire de la chimie*, La Découverte, Paris, 1993
- [26] Vergnaud G., Halbwachs F., Rouchier A., Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève, *Révue Française de Pédagogie*, n. 45, pp. 7-15, 1978
- [27] Popper K., *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna, 1972, p. 84
- [28] Larcher C., Chomat A., Méheut M., À la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états, *Révue Française de Pédagogie*, n. 93, pp. 51-62, 1990



Si registra purtroppo un clima di crescente incertezza da parte dei cittadini e degli operatori scolastici verso il mondo della scuola, per fortuna bilanciata dall'apprezzamento e riconoscimento che i singoli docenti meritano ed ottengono.

Nella politica scolastica una certa dose di disinteresse e improvvisazione ha preso il posto di un'attesa seria riforma della secondaria superiore. Invece con il sovrapporsi di notizie, circolari e avvisi, non è stato colmato il ritardo e un certo disordine di cui soffriamo, con ciò sottraendo alla scuola una parte del suo ruolo formativo.

Un discutibile progetto penalizza la scuola pubblica tagliandole i fondi (si pensi al numero di alunni per classe), con inevitabile contrazione dei posti di lavoro e mancata soluzione del problema del precariato.

I processi di ristrutturazione economica non solo si svolgono al di fuori del mondo scolastico, sottraendosi a qualsiasi possibilità di controllo da parte dei cittadini, ma trovano solo rari punti di tangenza con il sistema formativo; ne consegue un certo scollamento con il mondo del lavoro, con la conseguente difficoltà ad immettere in esso giovani meritevoli e preparati.

Emblematica, a questo riguardo, è la "rivoluzione informatica" di cui la scuola risulta oggetto di sperimentazioni discutibili (iniziative aristocratiche, riciclaggio di materiale, volontarismo degli insegnanti, orientamento tecnocratico), in assenza di un aggiornamento organico e pianificato della classe docente.

Due sono i risultati di tale sfiducia: un certo abbandono da parte dei giovani, nel Sud in particolare e nelle classi sociali meno abbienti in generale; scarsa considerazione del ruolo della scuola pubblica nell'opinione delle classi sociali superiori, che affidano i propri figli a quelle istituzioni private capaci di garantirne almeno la preparazione "tecnica" e "professionale". Ne viene quindi vanificato il diritto dello studio, prerogativa qualificante di un paese che voglia essere civile e socialmente credibile. Pure in un quadro tanto negativo, i docenti dimostrano di non volere rinunciare ad un progetto culturale e di ampio respiro: emergono infatti dagli utenti della scuola richieste - a volte confuse, ma sempre generose - di scelte culturali qualificate, che non vanno né eluse né scoraggiate. Va inoltre gestito anche l'esistente con gli strumenti più opportuni, superando soprattutto il settorialismo e l'individualismo esasperato da cui spesso l'insegnamento si lascia tentare. Oggi più che nel passato, perciò, il ruolo dei professori non deve ridursi a quello di "tecnici neutrali" che trasmettono un sapere acquisito. Al contrario va promossa invece quella progettazione culturale di più ampio respiro che colmi la frattura con la società, con gli ambienti da cui il giovane proviene, con le necessità psicologiche dell'età evolutiva. Si deve dunque comunicare l'amore ai valori della cultura e del rispetto civile, la conoscenza dei diritti - doveri dei cittadini, la fiducia che, nonostante le congiunture sfavorevoli, sia possibile modificare le situazioni oggettive attraverso gli strumenti legittimi che la Costituzione garantisce. In questo senso appare interessante nella riproposizione delle articolazioni disciplinari considerare aspetti di formazione civile con la proposta di tematiche interdisciplinari che trovino collocazione anche nel curriculum; etica, integrazione fra le discipline, cultura in vivo.

Sul problema delle tossicodipendenze, che i giovani sentono moltissimo, va preparato un programma educativo sociosanitario che, coinvolgendo le ASL locali e in particolare i consultori familiari, metta al centro del sistema scolastico il rispetto dell'individuo e dell'ambiente, con l'educazione all'igiene, all'ecologia, alla sicurezza sul lavoro.

La formazione dell'uomo e del cittadino consapevole è infatti prioritaria quanto più destituita di valori e ideali potrebbe apparire la realtà circostante.

L'impegno individuale dei docenti non è mai mancato in questa scuola per ciò che concerne la preparazione specificamente umanistica e in misura minore, per quella scientifica degli studenti. Ciò che si può migliorare riguarda piuttosto l'uso di strumenti didattici più moderni o l'arricchimento del curriculum, anche in prospettiva di una 'opzione delle discipline elettive.

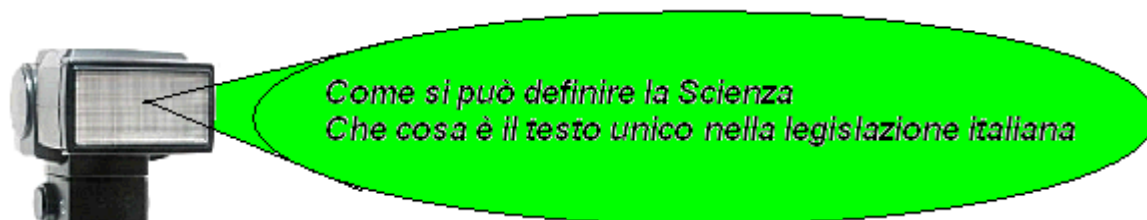
In questo, senso vanno incoraggiati gli approcci all'uso strumentale dell'informatica, l'approccio a linguaggi e metodologie di studio talora esclusi dal curriculum, quali l'economia, i rapporti fra arte e scienza, sistemi in vivo, ecc. Se pure queste esperienze avessero carattere elitario e volontaristico, non andrebbero certo per questo pregiudicate. Si richiede un accordo più incisivo tra i due sistemi della scuola primaria e scuola secondaria attraverso incontri e dibattiti fra i docenti dei diversi livelli, almeno nell'ambito del distretto.

A conclusione del ciclo, poi, si apre la prospettiva della scelta professionalizzante: va incoraggiata l'iniziativa di un "orientamento" condotto con mezzi concreti e scientifici. Molto qualificante sarebbe in questo caso il raccordo con il territorio, il che pone in primo luogo la necessità di biblioteche, emeroteche, videoteche, musei. Occorre garantirne il pieno funzionamento, sfruttando ogni risorsa disponibile nell'ambito della legislazione vigente, con l'obiettivo di allargarne la portata. Si può studiare l'ipotesi di strutturare all'interno di ciascun consiglio di classe attività di ricerca

Flash

legate a programmazione curriculare. Per quanto riguarda gli audiovisivi, non va dimenticato che "nella civiltà delle immagini" non solo essi vanno sfruttati come strumento didattico ausiliario, ma vanno anche presentati agli studenti in modo critico, affinché si abituino ad un ruolo non di passiva ricezione, ma di selettiva riacquisizione. Si pone qui in modo specifico il problema del raccordo della scuola con le realtà esterne, che sono poi quelle quotidiane degli studenti a cominciare dalla famiglia. I rapporti con i genitori vanno sviluppati nelle sedi opportune, Consiglio d'Istituto e Consigli di classe, nel segno di un progetto culturale corretto: quello della efficace collaborazione fra le forze in campo nel rapporto educativo con gli studenti.

Questa sola può essere la base per un sistema della formazione nel quale i diversi segmenti percepiscono di essere parte, non il tutto.



Luigi Campanella

Complesso organico di cognizioni intorno a una determinata materia e a un determinato ordine di fenomeni. Nel significato più comune e moderno, con scienza si indica un tipo di conoscenza che contiene in sé il metodo di verifica delle proprie enunciazioni. Il problema di definire la scienza, la sua metodologia, il suo oggetto e il suo valore per l'uomo è di estrema complessità, in quanto i significati del termine variano profondamente lungo l'arco della storia del pensiero umano e secondo l'oggetto al quale la scienza viene applicata. Dal punto di vista metodologico, si possono individuare tre diverse componenti. *La componente deduttivo-convenzionalistica*, tipica delle scienze formali (logica e matematica), che partendo da principi non dimostrabili (postulati) sviluppano per successive deduzioni l'intero complesso di proposizioni costituenti la scienza stessa; *la componente sperimentalistica*, prevalente nelle scienze della natura (fisica, chimica, biologia, psicologia ecc.), che si basano sulla verifica, fornita dagli esperimenti, di ipotesi poste dal ricercatore e che portano a individuarne induttivamente le leggi che regolano le relazioni esistenti tra i fatti osservati; *la componente sistematico-classificatoria*, propria di tutte le scienze, ma che emerge particolarmente nelle scienze sociali.

Nel diritto italiano per **testo unico** si intende una raccolta delle norme che disciplinano una determinata materia, che veniva approvato con decreto del Presidente della Repubblica (D.P.R.) sino al 1988, ma dopo la legge n° 400 del 1988 con Decreto legislativo, e sempre previa Legge delega. Con tale raccolta normativa su un determinato argomento di diritto, si sostituisce e si coordina una congerie di provvedimenti legislativi che, accavallandosi in sequenza, portavano all'interprete scarsa chiarezza di applicazione; nella fattispecie, leggi susseguites nel tempo che modificavano altre leggi, e/o introducevano nuove norme sulla materia; altre leggi che si affiancavano alle precedenti. Il testo unico, solitamente di tipo compilativo, ha perciò il pregio di accomunare in un solo corpo testuale - spesso definito "codice" poiché generalmente manca della necessaria sistematicità - tutta la regolamentazione su una materia, evitando così al destinatario (avvocato, giudice, consulente del lavoro, ingegnere, pubblico funzionario o cittadino), la possibilità di incorrere in errori dovuti alla pluralità di norme sparse per il sistema legislativo. Si parla di testi unici quando si tratta di riunire più testi di legge in uno solo che per questo prende il nome di testo unico. La Corte costituzionale, con sentenza 10 aprile 1957, n. 54, ha affermato che il testo unico predisposto in base a delega legislativa è un decreto legislativo, che ha forza di legge.

Un litro di latte contiene oltre 0,9 litri di acqua, ma per produrlo occorrono 900 litri di acqua, mille volte di più dell'acqua che esso contiene. Infatti la bovina che lo ha prodotto si è nutrita di un pascolo e tale erba è cresciuta utilizzando l'acqua delle piogge che viene chiamata "acqua verde"; una parte del nutrimento della bovina è però arrivata da mangimi od erba che sono stati ottenuti con coltivazioni irrigate con quella che viene chiamata "acqua blu" perché è stata sottratta da qualche fiume o falda sotterranea. Si calcola analogamente che il costo di acqua di 1.000 gr di formaggio è di circa 5.000 litri e quello di 1.000 grammi di carne di 16.000 litri.

Entropia: misura del disordine? ...o della dispersione di energia?!

Fabio Marchetti,* Claudio Pettinari, Corrado Di Nicola, Riccardo Pettinari

Università degli Studi di Camerino, Dipartimento di Scienze Chimiche, Via S. Agostino n 1, 62032 Camerino (MC)
fabio.marchetti@unicam.it

Riassunto: *l'usuale e diffusa associazione dell'entropia in un processo spontaneo come misura del crescente disordine dovrebbe essere sostituita da una nuova, semplice spiegazione dell'entropia come misura del grado di dispersione dell'energia ad una data temperatura.*

Abstract: *the widespread usual association of entropy in a spontaneous process as a measure of increasing disorder should be discarded in favour of a new, simple vision of entropy as a measure of energy dispersal at a given temperature.*

Entropia e disordine

...il professore entra nella classe, fa l'appello, segna gli assenti, poi esordisce: "Ragazzi! Oggi vi parlerò di una nuova funzione termodinamica, detta ENTROPIA." ...brusio sommesso tra gli studenti, uno parlotta col compagno di banco e bisbiglia "ENTRO...che?". Il professore riprende il discorso "...nell'universo, e quindi anche sulla terra dove noi viviamo, accadono molti fenomeni spontanei, che possono essere studiati dall'uomo attraverso le leggi fondamentali della termodinamica che ci permettono di capire e prevedere la direzione verso cui gli eventi evolvono spontaneamente. La termodinamica, che abbiamo introdotto nelle precedenti lezioni, ci permette infatti di misurare e quantificare gli scambi di calore e lavoro, cioè di energia sotto differenti forme, tra un sistema termodinamico e l'ambiente che lo circonda. Ma non solo! La termodinamica viene in nostro aiuto anche nel prevedere lo stato finale di un processo che avviene in un sistema lasciato a sé dopo uno scambio di calore o lavoro con l'ambiente. In particolare ci permette di comprendere perché, ad esempio, un gas tende sempre ad occupare tutto lo spazio a sua disposizione, e non a concentrarsi in una piccola porzione del volume a sua disposizione, ed anche perché due gas differenti, se possono, tendono sempre a mescolarsi, e non viceversa (avete forse mai visto due gas che si separano spontaneamente?) ... e così anche per molti altri fenomeni spontanei che avvengono in natura. Alcuni eminenti scienziati tra la metà e la fine del 1800 hanno infatti ideato e proposto una funzione di stato termodinamica alla quale hanno assegnato il nome di ENTROPIA, che misura il grado di disordine di un sistema. Un assioma fondamentale, la seconda legge della termodinamica, dice appunto che ogni processo spontaneo avviene nella direzione di un aumento di entropia, e che l'entropia dell'universo è in continuo aumento, cioè l'universo tende ad essere sempre più disordinato". ...gli studenti sono ammutoliti al sentire questa previsione "catastrofica" del futuro... "...considerate ad esempio un mazzo di carte nuovo, aprite il cellophane che lo racchiude e troverete le carte perfettamente ordinate dalla produzione. Ora mescolatele un po' di volte e noterete che il mescolamento ha disordinato le carte che non saranno più in sequenza, cioè si è andati spontaneamente verso un maggior disordine. Potete provare quanto volete, ma mescolando tutto assieme non riuscirete mai a rimetterle perfettamente in ordine, perché in tutti i processi il disordine aumenta sempre!" Il professore continua: "...vi faccio un altro esempio della validità di questa legge: pensate alla vostra cameretta, essa diventerà sempre più disordinata, a meno che voi, o più probabilmente vostra madre, non cercherà di ridare un po' di ordine a tutte le vostre cose, libri, giornali, CD, DVD, vestiti e così via." ...molti studenti si guardano a vicenda, sorridono e muovono il capo in segno di assenso. "in effetti - continua il professore - noi possiamo limitare questa tendenza ineluttabile verso un maggior grado di disordine soltanto al costo di un lavoro ma nel fare ciò, dobbiamo fare un grosso sforzo, che richiede energia, e questa energia la prendiamo dall'ambiente, sotto forma di alimenti. Ma questa è una faccenda molto dispendiosa, che crea a sua volta ulteriore disordine nell'ambiente che ci circonda. Quindi il cerchio si chiude e di nuovo abbiamo aumentato il disordine, cioè l'entropia è aumentata!"

In questo breve paragrafo introduttivo abbiamo cercato di ricreare idealmente (naturalmente in modo molto semplificato, non ce ne vogliano i professori delle scuole superiori...) una tipica lezione introduttiva sul concetto di entropia. E allora? Cosa c'è di strano? C'è forse qualcosa che non va? Sì, in effetti c'è qualcosa, anzi più di una cosa, che "non va"! E in questo articolo cercheremo di spiegarlo (i professori stiano tranquilli, il qualcosa che non va è essenzialmente nelle definizioni riportate nei testi scolastici, la colpa quindi non è loro...ma in fondo la colpa non è neanche degli editori e degli stessi autori dei testi scolastici, come vedremo in seguito).

Qualcosa non va...nella definizione dell'entropia

Bene, iniziamo col dire subito che la classica definizione di entropia, quale funzione di stato termodinamica che misura il grado di disordine di un sistema, **NON** è corretta!

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!

Infatti in questa definizione c'è qualcosa che non va: il “**disordine**”! Ma, voi replicherete, il disordine è un concetto molto usato nella definizione di entropia. Migliaia di testi, italiani e stranieri, per studenti delle scuole e anche per quelli dell'università, riportano (praticamente dagli inizi del 1900...) questa classica associazione: maggiore entropia = maggiore disordine. Ma essa, pur se utilizzata con il lodevole obiettivo di semplificare e visualizzare il concetto di entropia attraverso semplici analogie anche con oggetti macroscopici o situazioni che attengono al mondo macroscopico, può però generare molte perplessità e addirittura misconcezioni. [1]

La termodinamica, ed in particolare l'entropia, sono da sempre argomenti considerati tra i più ostici dagli studenti, sia per l'elevato formalismo matematico, sia per l'uso di termini creati ad hoc (processo adiabatico, esoergonico, endoergonico, sistema isolato, chiuso e aperto, entalpia, energia libera, entropia appunto, ecc.) ma anche di termini di uso corrente con un significato a volte sottilmente differente (processo reversibile, irreversibile, spontaneo, non spontaneo). [2] La scienza progredisce anche nel suo linguaggio e negli approcci didattici che vengono di volta in volta modificati per meglio adattare i concetti scientifici al contesto sociale moderno. Il dibattito epistemologico su tali aspetti è sempre molto vivo, basti considerare come esempio l'evoluzione del concetto di equilibrio chimico nel corso dei ultimi due secoli [3] e l'accesa diatriba sull'uso del Principio di Le Chatelier. [4]

L'entropia è un tipico esempio di concetto per il quale l'approccio didattico preferito è stato spesso basato più sull'apprendimento delle procedure di calcolo del ΔS in differenti contesti e processi, che sul suo profondo significato. “Non preoccuparti di capire cos'è l'entropia, piuttosto preoccupati di imparare a calcolarne la variazione” era la tipica risposta del professore allo studente perplesso sul significato dell'entropia. [5]

È però da tempo che eminenti scienziati hanno evidenziato, a suon di pubblicazioni su riviste specializzate, [6] i difetti insiti nel fuorviante uso del concetto di entropia come “misura del disordine”. Tra essi, in particolare il Prof. Harvey S. Leff ed il Prof. Frank L. Lambert stanno da diversi anni conducendo una loro personale battaglia contro l'uso, soprattutto in didattica delle scienze, del concetto di disordine associato ad un incremento dell'entropia e molti loro lavori apparsi su famose riviste di didattica della chimica ne sono una esemplare testimonianza. [7] Lambert ha anche allestito un sito web [8] in cui sono riportati tutti i suoi articoli su questa tematica. Ma tant'è, le abitudini sono dure a morire, e solo nelle ultime edizioni di famosi testi universitari anglosassoni di Chimica Generale e Chimica Fisica le cose stanno finalmente iniziando a cambiare. [9] Qui in Italia il disordine, come spiegazione del significato di entropia e come “driving force” di tutti i processi spontanei appare, ancora praticamente in tutte le edizioni dei testi scolastici ed universitari di chimica, siano essi di autori italiani o traduzioni di autori stranieri (in questo caso perché sono traduzioni di edizioni precedenti, in cui il concetto di disordine era ancora ampiamente utilizzato).

Alcuni esempi in cui il concetto di disordine è fuorviante

Per rafforzare quanto finora detto, riportiamo di seguito alcuni esempi di sistemi che evolvono verso un particolare stato finale, la cui previsione sarebbe errata se venisse applicato l'abituale descrittore “entropia = disordine”.

(a) preparate un bicchiere contenente acqua e ghiaccio tritato galleggiante e un altro bicchiere con sola acqua liquida. Mostrate agli allievi i due sistemi e chiedete loro qual è quello più disordinato. [7a,b,d] Noi abbiamo provato questo semplice esperimento con moltissimi studenti universitari, che quindi dovrebbero essere già “allenati” ai concetti di termodinamica attraverso vari esami di Chimica Fisica del corso di laurea triennale in Chimica. Ebbene molti (un buon 50%) ci hanno risposto che “il sistema più disordinato è quello eterogeneo con acqua e ghiaccio tritato”! Essi hanno cioè applicato la loro concezione di disordine legata ad oggetti macroscopici (...gli altri, applicando una visione microscopica, hanno intravisto un maggior disordine nel liquido omogeneo, piuttosto che nel sistema eterogeneo di liquido e solido). Poi, quando abbiamo chiesto di ricordare l'enunciato della seconda legge della termodinamica, tutti hanno risposto che “l'entropia dell'universo aumenta”. Abbiamo poi chiesto loro di definire cosa è l'entropia e tutti hanno risposto “una misura del disordine” e quindi la seconda legge afferma che “l'entropia dell'universo aumenta in tutti i processi spontanei”. Quando infine si richiede ai ragazzi di prevedere lo stato finale verso cui evolve spontaneamente il predetto sistema eterogeneo di acqua e ghiaccio, se lasciato a se stesso a temperatura ambiente, applicando la loro precedente definizione della seconda legge della termodinamica....sconcerto e confusione!

Il sistema più disordinato evolverà spontaneamente verso uno stato più ordinato (secondo la loro percezione macroscopica di ordine e disordine)? Per molti ragazzi (anche a livello universitario) un sistema eterogeneo di parti macroscopiche con dimensioni irregolari di solido mescolate con un liquido, è una situazione altamente disordinata. Ma naturalmente a temperature superiori a quella di solidificazione del ghiaccio il sistema eterogeneo contenuto nel bicchiere tenderà a poco a poco a trasformarsi spontaneamente in un liquido omogeneo e trasparente (una situazione per molti più ordinata!). Per uno studente al quale è stato insegnato che le trasformazioni spontanee avvengono sempre con un aumento dell'entropia (e quindi del disordine) tutto ciò può creare notevole perplessità.

(b) se provate ad aggiungere acqua ad una bottiglia riempita per metà di un olio vegetale, scuotendo la bottiglia con forza in modo da formare inizialmente una emulsione, questo sistema può a buon diritto essere considerato molto disordinato, ma poi, a poco a poco, i due liquidi tenderanno progressivamente a separarsi formando due strati ben visibili, con l'acqua più densa al di sotto dello strato di olio meno denso, quindi una situazione finale chiaramente più ordinata. Di nuovo gli allievi osservano il passaggio spontaneo di un sistema da uno stato disordinato ad uno più ordina-

to! Di nuovo il binomio “entropia = disordine” sembra non riuscire a fornire un valido criterio per prevedere l’evoluzione spontanea di un sistema. [7d,10]

(c) proponete infine la seguente situazione: chiedete agli allievi di immaginare due contenitori uguali contenenti ciascuno una mole di gas elio e una di gas kripto a temperatura ambiente. [7d] Chiedete quindi loro di prevedere quale dei due sistemi abbia una entropia maggiore. Abbiamo potuto constatare che diversi ragazzi prevedono un valore di entropia uguale per entrambi i sistemi. Facendo allora notare che gli atomi di elio, essendo più leggeri, si muovono molto più velocemente rispetto a quelli di kripto, più pesanti, nelle stesse condizioni di temperatura, tutti gli studenti sono d’accordo nell’assegnare una entropia maggiore al sistema del gas elio. Infatti, ragionando in funzione del maggiore disordine nella posizione delle particelle, si può prevedere una maggiore entropia per una mole di elio rispetto ad una mole di kripto, poste alla stessa temperatura. Ma ancora una volta la risposta è errata: l’elio presenta un’entropia molare standard di $126.15 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, contro un valore di $164.08 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ per quella del kripto.[11]

Ora se volete, prima di procedere nella lettura, provate idealmente voi stessi, usando ancora il binomio entropiadisordine, a spiegare all’allievo, disorientato e confuso di fronte a tali evidenze sperimentali, che i processi osservati non contraddicono la seconda legge della termodinamica!

Ma se sono così tante le contraddizioni, [12] come mai si fa sempre riferimento al concetto di entropia correlandolo alla tendenza verso un maggior disordine da parte di un qualsivoglia sistema? Chi ha introdotto per primo questa misconcezione? Chi è il “colpevole” del “peccato originale”?

Origine storica dell’uso del disordine nella descrizione dell’entropia

Nel lontano 1865 Clausius introdusse il concetto di entropia. I suoi studi erano chiaramente influenzati dai precedenti lavori di Carnot, per il quale era chiaro che la causa di ogni processo e moto era il calore “Everyone knows that heat can be the cause of movement and that it also has a large motive force” (traduzione: “*tutti sappiamo che il calore può essere la causa del movimento e che esso è anche una grande forza propulsiva*”). [5] Clausius sapeva che il calore poteva agire sui corpi sovrastando la coesione tra le parti costitutive dei corpi (“constitutive parts of bodies” cioè tra le molecole, anche se egli non parlò mai di molecole), ed essere quindi la causa della “disgregazione” dei corpi stessi con conseguente trasformazione di fase (fusione o ebollizione).[5] Egli definì l’azione del calore sui corpi come una tendenza ad aumentarne la disgregazione (“the heat tends to increase its disgregation”), e propose che ogni stato di un corpo (oggi diremmo “di un sistema”) poteva essere caratterizzato da un valore di disgregazione (“disgregation value”). Clausius introdusse così una nuova funzione di stato termodinamica, corrispondente ad un quoziente per un processo reversibile di scambio di energia termica (calore) diviso per la temperatura assoluta (in gradi Kelvin):

$$dS = dq_{\text{rev}}/T \quad (1)$$

Egli propose per tale quoziente il termine “entropia” derivandolo dal greco *en tropa* (durante la trasformazione) [13] e indicando con dS il contenuto della trasformazione (“*verwandlungsinhalt*” in tedesco). [14]

A quel tempo ancora non si ragionava correntemente in termini di particelle microscopiche, soprattutto nella cerchia dei fisici. I chimici credevano ormai fermamente nell’esistenza di una materia discontinua, degli atomi e delle molecole, ma per molti, soprattutto i non chimici, queste erano soltanto congetture, senza prove certe e definitive.

Perciò Clausius poteva soltanto focalizzare la sua attenzione sul comportamento macroscopico di sistemi chimici considerati come macro unità, senza alcun riferimento alla loro costituzione microscopica. Ora, naturalmente, dal moderno ed avanzato punto di vista della termodinamica molecolare e statistica, possiamo considerare un qualsivoglia sistema come costituito da un numero incredibilmente grande di particelle (atomi o molecole) in contatto termico tra loro. [15]

Più tardi, Boltzmann si dedicò allo studio delle velocità delle particelle dei gas a temperature differenti e il maggior “disordine” di un gas ad elevata temperatura rispetto alla sua distribuzione di velocità a temperature inferiori fu scelto come “supporto visivo”, come “metafora” per descrivere il maggior contenuto entropico del gas stesso. Subito molti altri scienziati seguirono l’analogia proposta da Boltzmann e già nel 1883 Helmholtz diede all’entropia un secondo nome di battesimo: “disordine” (“*unordnung*” in tedesco). [16] Anche Gibbs raccolse questa descrizione dell’entropia traducendola in “entropy as mixed-up-ness”, come riportato in suoi scritti postumi. [17] Nel 1898 Boltzmann pubblicò il trattato “Lectures on Gas Theory” in cui enfatizzò ancor meglio la variazione di entropia come il passaggio da ordine a disordine.[18] Ma il riferimento al disordine era in effetti più un supporto, una “metafora”, una analogia per meglio visualizzare l’entropia, e non una causa fisica o teorica fondamentale per il maggior valore di entropia del gas a temperature elevate. Infatti il Prof. Sommerfeld, suo successore alla cattedra di fisica teorica a Monaco, si premurò di dichiarare che l’affermazione di Boltzmann non era supportata da alcun tipo di calcolo.[19] Inoltre Boltzmann non avrebbe potuto in alcun modo calcolare questo grado di disordine, neanche se avesse voluto associarlo alla probabilità di un certo macrostato di un sistema macroscopico, corrispondente al numero di microstati possibili W per quel macrostato, perché la famosa equazione di Boltzmann:

$$S = k_B \ln W/W_0 = k_B \ln W \quad (2)$$

fu in effetti proposta nella forma attuale solo nel 1906 da Planck, il quale calcolò k_B dal rapporto R/N_A (R = costante dei gas, N_A = costante di Avogadro) dandogli il nome di “costante di Boltzmann”, in onore del grande fisico morto proprio

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!

in quell'anno.[20] Inoltre la probabilità W non aveva nessun valore W_0 di riferimento, che fu infatti proposto con la terza legge della termodinamica soltanto tra il 1906 e il 1912 (per cristalli perfetti allo zero assoluto $W_0 = 1$, quindi $S = 0$). [21] Nel corso degli anni successivi questa metafora "entropia = disordine" venne però ripresa da altri ricercatori e si diffuse enormemente attraverso tutti i più popolari testi di chimica, fino a diventare un "must": l'immagine dell'entropia è stata da allora sempre associata al disordine. Possiamo ben dire di trovarci di fronte ad un classico esempio di "ipse dixit" di aristotelica memoria, che si è perpetuato nel tempo!

Disordine metafora dell'entropia

Quindi il termine "disordine" fu introdotto come **metafora**, o modello semplificato, per meglio visualizzare una variazione di entropia conseguente al riscaldamento di un sistema gassoso a volume costante. Esaminando vari testi scolastici ed anche universitari, il disordine della materia viene spesso invocato per spiegare la tendenza di un gas ad espandersi, se gli è permesso, in un volume maggiore rispetto a quello iniziale, e anche per spiegare la tendenza di due o più gas, inizialmente separati, a mescolarsi. La metafora del disordine sembra in effetti molto utile per visualizzare la naturale tendenza di questi sistemi verso uno stato finale caratterizzato da un maggior disordine delle particelle. Ma se tale metafora funziona bene, perché allora contrastarne l'uso nella ricerca scientifica e soprattutto nella didattica delle scienze? In fondo la scienza progredisce attraverso i modelli, che sono giocoforza immagini più o meno semplificate della realtà (pensate al modello della scala a pioli per la doppia elica del DNA).[22]

Attenzione però, le metafore possono essere importanti ed utili, ma i loro **limiti** debbono essere sempre ben chiari, perché se prese alla lettera le metafore possono confondere piuttosto che chiarire, o addirittura portare a conclusioni non corrette, come abbiamo constatato nei precedenti esempi. Inoltre, l'analogia "entropia = disordine" è considerata alla base del ragionamento dei creazionisti contro la teoria evoluzionista in biologia.[23] Secondo i creazionisti gli organismi superiori ed avanzati come gli esseri umani, in base al binomio disordine-entropia non potrebbero essersi evoluti da organismi primitivi, essendo più ordinati ed organizzati rispetto ad essi, in quanto la seconda legge della termodinamica prevede un aumento del disordine, cioè proibisce l'aumento di ordine, quindi "proibisce l'evoluzione biologica"! Naturalmente l'argomento poggia su due misconcezioni: una riguarda proprio la metafora entropia-disordine, l'altra è che, seppur l'entropia dell'universo è in continuo aumento, nulla vieta che in alcune parti dell'universo essa possa diminuire nel tempo, se tale diminuzione viene più che compensata da un maggior aumento di entropia in altre parti dell'universo.

Ma, a parte il problema delle teorie creazioniste, che fortunatamente nel vecchio continente non hanno attecchito, vi sono anche molti semplici processi in natura, facilmente accessibili e sotto gli occhi di tutti, come quelli prima proposti, per i quali l'applicazione della metafora del disordine è fuorviante e crea misconcezioni nei meno esperti, cioè il "modello esplicativo" non riesce a "spiegare", anzi confonde e disorienta!

Il problema legato all'uso del concetto di disordine, come contrapposto all'iniziale ordine di un sistema, sta nel fatto che ordine e disordine **NON** sono quantità scientificamente ben definite, e l'ordine, inteso come presenza di una struttura organizzata in un sistema, così come la bellezza di un quadro, o il disordine di una scrivania, sono negli occhi di chi osserva, sono cioè concetti altamente soggettivi, non misurabili. Moltissimi autori e scienziati hanno attribuito all'entropia significati differenti (ad esempio, entropia come disordine, molteplicità o calore perso),[1b,6b,7h] ed altri hanno anche impiegato l'entropia come concetto formale nella teoria dell'informazione (entropia come perdita di informazione).[6b,7h,24] L'entropia associata al disordine è stata addirittura adottata nelle arti e nelle scienze sociali come una descrizione metaforica dello stato di una società e come una "causa" del progressivo degrado morale e sociale.[24] Ma queste sono metafore, analogie che non hanno nulla di scientificamente dimostrabile. Qui cercheremo invece di chiarire il suo significato termodinamico in un linguaggio semplice e facilmente comprensibile anche ai neofiti.

Dispersione e diffusione spontanea di energia

Iniziamo col dire che per tutti i processi fisici e chimici possiamo utilizzare una grandezza che "definisce" la spontaneità e fornisce la "direzione" dei processi, lo stato finale dei processi. Tale grandezza, data dal rapporto tra l'energia scambiata e la temperatura alla quale avviene lo scambio è appunto l'entropia. Voi direte: ma che novità! È dov'è la differenza rispetto a quanto abbiamo sempre detto? Bé, la novità sta nel restituire il significato originale alla grandezza entropia. **L'entropia misura lo scambio di energia ad una data temperatura**, non misura l'incremento di disordine!

In tutti i processi vi è sempre l'energia che viene scambiata. Ad esempio il trasferimento di calore per conduzione (di energia termica) da un corpo più caldo ad uno più freddo avviene per incessanti collisioni tra le particelle del sistema e quelle dell'ambiente circostante e in questo modo l'energia, da concentrata nel solo corpo più caldo prima dello scambio, è alla fine maggiormente dispersa e diffusa anche tra le particelle del corpo inizialmente più freddo. A differenza del disordine però, questo grado di **dispersione e diffusione dell'energia** è una grandezza scientificamente misurabile, cioè un concetto con una valenza oggettiva ben precisa, e ad essa è stato assegnato il nome entropia.

La tendenza naturale verso una maggiore dispersione di energia nei processi spontanei spiega in modo semplice ed immediato l'enunciato della seconda legge della termodinamica proposto da Clausius: "il calore non può passare da un

corpo a bassa temperatura verso uno a temperatura maggiore, senza alcuna trasformazione in qualche altro luogo dell'universo che accompagni questo processo”, cioè l'energia ha la naturale tendenza a migrare da un corpo caldo ad uno freddo, ed il processo inverso non è spontaneo (un processo può essere definito **spontaneo** se avviene senza alcun input aggiuntivo di energia al sistema). È possibile far avvenire il processo inverso, però deve essere compiuto un lavoro per invertire questa tendenza naturale a spese di un impiego superiore di energia, una parte della quale andrà comunque dispersa nell'ambiente (come nei frigoriferi, che raffreddano gli oggetti al loro interno a spese di un lavoro svolto da un agente esterno, sotto forma di energia elettrica fornita da un generatore). Cioè tutti i processi, spontanei e non spontanei, comportano comunque una dispersione e diffusione complessiva di energia nell'universo.

Misura della dispersione di energia

La seconda legge della termodinamica può allora essere enunciata nel modo seguente: “**l'energia da localizzata e concentrata tende a disperdersi e a diffondere, se gli è permesso**”. Poiché in ogni scambio energetico tra due corpi a temperatura differente, l'energia tende a disperdersi, volendo usare un gradiente di temperatura per produrre lavoro non riusciremmo mai a trasformare totalmente l'energia scambiata in lavoro utile, in quanto una parte di essa si disperderà nell'ambiente circostante sotto forma di energia termica (calore). Nessun processo può raggiungere il 100% di efficienza energetica, perciò tutti i processi nell'universo contribuiscono ad aumentare la dispersione e diffusione dell'energia, in quanto una parte di essa viene sempre dispersa nell'ambiente. È possibile misurare questa tendenza alla dispersione? Sì, è possibile, attraverso la quantità fisica ideata da Clausius, l'entropia. Secondo la nuova definizione proposta da Lambert e Leff:[7]

l'entropia misura il “**grado di dispersione e diffusione dell'energia durante un processo che avviene ad una data temperatura**”.

Dimensionalmente, l'entropia è misurabile in unità di energia su temperatura (energia in Joule e temperatura in gradi Kelvin), secondo la ben nota definizione quantitativa data da Clausius ($dS = dq_{rev}/T$). Parafrasando la precedente definizione “**la variazione di entropia misura il grado di dispersione e diffusione di energia ad una data temperatura**” (attenzione, non esiste alcun strumento che sia in grado di misurare direttamente l'entropia, mentre termometri e calorimetri, usati per controllare la temperatura e gli scambi energetici, fanno parte della dotazione comune di ogni laboratorio). Quindi l'entropia **NON** è né una misura del “disordine”, né la “forza motrice”, né la “causa” di una tendenza inesorabile della natura. L'entropia è soltanto un dispositivo teorico creato dall'intelletto umano, un concetto di tipo relazionale e operativo (un quoziente di due grandezze fisiche misurabili), essenzialmente uno **strumento di misura** di una tendenza naturale nei processi spontanei: la diffusione e dispersione di energia, qualora non vi siano ostacoli a ciò. Mentre la prima legge della termodinamica afferma che l'energia si conserva in ogni processo, la seconda legge dice cosa può avvenire spontaneamente, cioè una dispersione di energia complessiva nell'universo, se non vi sono ostacoli. L'entropia misura questa tendenza in modo quantitativo. Come indicato anche dal Prof. Villani: “il primo principio darà conto della conservazione (dell'energia), il secondo della dissipazione (creazione di entropia)”. [25]

Ma cosa significa l'ultima parte dell'enunciato della seconda legge “...**se non vi sono ostacoli**”? Consideriamo ora un gas in un contenitore chiuso: se gli è permesso fisicamente di espandersi, ad esempio aprendo un foro nel contenitore, il gas fuoriuscirà espandendosi, disperdendo l'energia di movimento delle proprie particelle nel maggior volume a sua disposizione. Altrimenti rimarrà chiuso nel contenitore e l'energia non potrà diffondersi e disperdersi.

Quindi il contenitore di un gas perfettamente chiuso costituisce un esempio di ostacolo. Pensiamo ora ad un fiume di montagna che scende a valle: se si costruisce una diga lungo il percorso, essa costituirà un ostacolo alla naturale tendenza dell'acqua a scendere a valle, cioè della sua energia potenziale a mutare in energia cinetica disperdendosi e diffondendo verso la valle, verso il basso.

Dispersione e quantizzazione dell'energia

Possiamo naturalmente andare ancora più a fondo, ad un livello **particellare** della materia, cioè dei sistemi termodinamici reali, e definire l'entropia in modo più accurato, in base alla termodinamica statistica (o termodinamica molecolare) che si è sviluppata dalla prima metà del secolo scorso. Un qualsiasi sistema termodinamico è un insieme enorme di particelle in contatto termico tra loro,[15] quindi l'energia che viene scambiata e dispersa è l'energia cinetica delle particelle che, urtando e collidendo tra loro e anche con le particelle dell'ambiente circostante (ad esempio un contenitore), si trasferiscono vicendevolmente energia. Però a livello atomico e molecolare dobbiamo ricordare che l'energia cinetica di particelle microscopiche come gli atomi e le molecole è **quantizzata**, cioè non può essere scambiata in modo continuo, ma solo in pacchetti ben definiti (quanti di energia). Tale energia cinetica può essere associata, dal punto di vista classico, ai tre tipi fondamentali di moto: vibrazionale, rotazionale e traslazionale. La meccanica quantistica ci fornisce le relazioni matematiche per i tre tipi di movimento:

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!

$$E_T = \frac{n^2 h^2}{8mL^2} \quad \text{energia traslazionale} \quad (3)$$

$$E_R = \frac{h^2}{8\pi^2 mr^2} J(J+1) \quad \text{energia rotazionale} \quad (4)$$

$$E_V = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}} \left(\nu + \frac{1}{2} \right) \quad \text{energia vibrazionale} \quad (5)$$

dove h è la costante di Planck, m è la massa della particella, L è l'incertezza nella sua posizione, r è la distanza dall'asse di rotazione, D è la costante di forza e n , J e ν sono numeri quantici. L'equazione (3) è applicata nel classico esempio, riportato in tutti i testi di chimica generale, della particella in una scatola, dove all'aumentare delle dimensioni del contenitore, aumenta l'incertezza L nella posizione e la separazione E^T tra i livelli diminuisce. L'equazione (5) è alla base della moderna spettroscopia infrarosso, e la presenza della massa al denominatore spiega lo spostamento isotopico: ad esempio gli assorbimenti dovuti ai legami X-H vengono spostati a frequenze minori in seguito alla sostituzione di H con il suo isotopo più pesante deuterio.

Livelli energetici occupati e probabilità

Fatta questa necessaria premessa, secondo la termodinamica statistica l'entropia di un sistema viene definita in funzione del modo di distribuire energia a livello particellare. Cioè l'entropia è la funzione di stato che misura il **grado di distribuzione dell'energia su un gran numero di moti molecolari correlabili a stati quantizzati** (o microstati).

Dal punto di vista quantitativo si può usare l'equazione di Boltzmann $S = k_B \ln W_{\max}$ dove k_B è la costante di Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$) e W_{\max} è il numero di microstati corrispondenti al particolare macrostato del sistema. L'entropia è quindi una **misura del numero di livelli energetici occupati**. Dal punto di vista dimensionale essa è ancora misurata in unità energia/temperatura (anche in base all'equazione di Boltzmann, per la presenza della costante k_B data in J K^{-1}).

Possiamo quindi anche interpretare l'entropia come una misura della probabilità statistica di un sistema, cioè una **misura della probabilità di un sistema di esistere con una certa energia in un particolare macrostato** (una entropia elevata indica uno stato ad elevata probabilità, per il quale la dispersione di energia è elevata, viceversa per un valore piccolo di entropia).

Dispersione dell'energia (causa) e cambiamento nella posizione (effetto)

Qui dobbiamo fare una ulteriore puntualizzazione: una variazione di entropia non è riferita ad un cambiamento nella posizione delle particelle di un sistema, ad esempio liquido o gassoso. Questa è una **conseguenza** della variazione di entropia, **NON** la causa. La causa risiede nella tendenza naturale dell'energia a diffondere e a disperdersi nello spazio. [26] Dal punto di vista microscopico l'entropia è riferita ad una ridistribuzione dell'energia sui livelli energetici a disposizione di quel sistema di particelle. Ciò è anche logico, perché un cambiamento nella posizione richiede energia, cioè l'energia è il motore di tutto, e la sua naturale tendenza a disperdersi e diffondere nello spazio è la **causa dei processi spontanei**. Questo è un ulteriore motivo per rimuovere l'uso del disordine nel lessico termodinamico: esso dirige l'attenzione su quella che è la **conseguenza** e **non la causa** dei processi naturali. La causa è la dispersione e diffusione di energia, e l'eventuale caotica disposizione delle particelle ne è la conseguenza (ma sappiamo che anche l'ordine, seppur localizzato, può esserne la conseguenza, pensate alla formazione di ghiaccio o di cristalli di diamante). Focalizzare l'attenzione sul disordine significa attribuire il significato di causa a ciò che invece è una conseguenza di qualcos'altro (la dispersione di energia), come dire che il disordine è causa di se stesso, il che è chiaramente assurdo! In definitiva, **l'entropia è come viene definita dalle equazioni**, niente di più e niente di meno o di diverso. L'entropia, come le altre funzioni termodinamiche, fa riferimento all'energia, **NON** al disordine, concetto vago, non ben definibile e non misurabile quantitativamente. E ora cerchiamo di applicare questa nuova interpretazione dell'entropia e della seconda legge della termodinamica e di verificarne la semplicità.

Applichiamo la nuova definizione

Nel passaggio di calore (energia termica) dal corpo più caldo a quello più freddo, l'energia viene maggiormente dispersa nell'universo. Allo stesso modo un corpo non diventa spontaneamente più caldo dell'ambiente circostante, poiché ciò richiederebbe la localizzazione di energia termica nell'oggetto. Il trasferimento opposto, la dispersione di

energia dal corpo più caldo al suo intorno più freddo è invece naturale e spontanea. Ma perché nel passaggio di energia da un sistema all'ambiente l'entropia aumenta?

Consideriamo un sistema a temperatura T_{mag} maggiore della temperatura T_{min} dell'ambiente circostante ($T_{\text{mag}} > T_{\text{min}}$). La seconda legge prevede che il sistema trasferisca una quantità di energia q sotto forma di calore all'ambiente in modo da disperderla e diffonderla nell'ambiente. L'entropia del sistema diminuirà di $-q/T_{\text{mag}}$ mentre quella dell'ambiente aumenterà di q/T_{min} . Poiché $T_{\text{mag}} > T_{\text{min}}$ l'incremento di entropia (q/T_{min}) dell'ambiente sarà maggiore in valore assoluto della diminuzione di entropia ($-q/T_{\text{mag}}$) del sistema, e quindi l'entropia complessiva dell'universo (sistema + ambiente) durante il trasferimento aumenterà:

$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{ambiente}} + \Delta S_{\text{sistema}} = q/T_{\text{min}} + (-q/T_{\text{mag}}) > 0 \quad (6)$$

Stesse considerazioni possono essere applicate al caso inverso di un sistema più freddo dell'ambiente circostante, in cui l'ambiente cede una quantità di energia q al sistema.

Cerchiamo ora di spiegare i suddetti scambi di energia anche dal punto di vista microscopico e particellare della materia. La quantizzazione dell'energia ci permetterà di approfondire e comprendere ulteriormente l'evidenza sperimentale della seconda legge della termodinamica ed il significato profondo dell'entropia. Nel caso del sistema a temperatura più elevata dell'ambiente circostante, una parte dell'energia cinetica delle particelle (l'energia del movimento delle particelle) del sistema verrà trasmessa attraverso gli urti alle particelle dell'ambiente, così il sistema ridurrà la propria temperatura mentre l'ambiente la aumenterà fino ad avere un equilibrio termico (sistema ed ambiente alla stessa temperatura). Viceversa nel caso che la temperatura del sistema sia minore di quella dell'ambiente. Possiamo visualizzare l'immissione di energia dall'ambiente nel sistema come una redistribuzione dell'energia immessa e di quella già presente sui livelli energetici a disposizione del sistema (Figura 1). In altre parole l'energia sarà maggiore e maggiormente dispersa e diffusa su un maggior numero di livelli di quanto non lo fosse all'inizio. Viceversa nel passaggio di energia dal sistema più caldo all'ambiente più freddo.

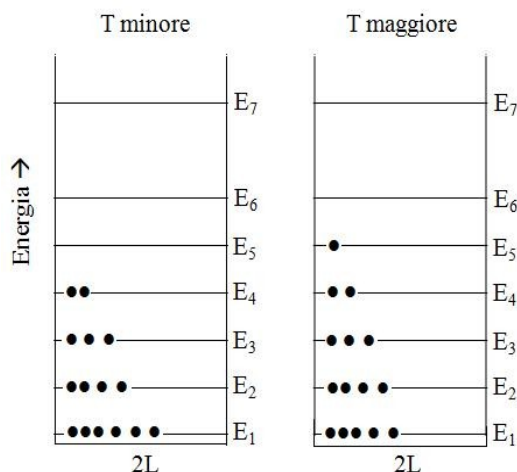


Figura 1

Il concetto di dispersione e diffusione di energia non è limitato al trasferimento di energia termica (calore) tra un sistema e l'ambiente. La dispersione e diffusione di energia si verifica anche attraverso la **ridistribuzione** della stessa quantità di energia in un sistema. Ciò avviene, ad esempio, quando ad un gas viene permesso di espandersi in un contenitore vuoto, termicamente isolato dall'ambiente, con un risultante aumento di volume (il classico esempio di processo al quale viene applicato il binomio "entropia = disordine", nella gran parte dei testi scolastici ed universitari).

Nonostante in tale processo di espansione non vi è alcuno scambio di energia termica (dq è zero), l'energia totale del sistema, pur rimanendo la stessa, è però maggiormente dispersa e diffusa in un volume più grande, poiché le particelle hanno a disposizione uno spazio maggiore in cui muoversi, quindi l'entropia aumenta. Questa maggiore dispersione e diffusione è facilmente visualizzabile anche dal punto di vista particellare: l'entropia di un sistema dipende dal numero di distinti stati microscopici (microstati) corrispondenti al macrostato del sistema e l'espansione di un gas in uno spazio in cui è stato fatto precedentemente il vuoto comporta un aumento dei microstati accessibili, in quanto la spaziatura (il gap) tra i livelli energetici di un sistema termodinamico diminuisce all'aumentare delle sue dimensioni (del volume del contenitore a disposizione del gas), in altri termini aumenta la densità dei microstati (Figura 2), come si può comprendere dalla precedente equazione (3) che descrive in termini quantistici l'energia traslazionale E_T delle particelle. All'aumentare del volume a disposizione, l'incertezza nella posizione L aumenta, il denominatore aumenta e quindi il rapporto diminuisce, cioè diminuisce la differenza tra i livelli energetici traslazionali contigui.

Ed ora estendiamo la spiegazione al mescolamento spontaneo di due o più gas. Consideriamo un apparato a 70°C con due bulbi separati da un rubinetto chiuso, con vapori rosso-arancio di bromo (bromo molecolare allo stato gassoso, pun-

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!

to di ebollizione 58.8°C a 1 atm) in un bulbo e aria (azoto e ossigeno molecolari) nell'altro. Aprendo il rubinetto si osserverà che i due bulbi assumeranno una colorazione omogenea rosso-arancio pallido, ed analizzando la composizione dei bulbi si risconterà la presenza di una stessa quantità di bromo, azoto e ossigeno molecolari in entrambi. Ogni molecola di ciascun gas ha infatti a disposizione un maggior volume rispetto a quello iniziale per muoversi e diffonderà maggiormente l'energia. Ragionando nuovamente in termini di livelli quantizzati, in un volume più grande l'energia potrà distribuirsi su un maggior numero di livelli energetici traslazionali, proprio come nel caso dell'espansione di un gas nel vuoto, quindi il mescolamento sarà più probabile. Stesso ragionamento può essere applicato al mescolamento di due liquidi ideali. Quindi il mescolamento spontaneo di due fluidi è dovuto allo stesso motivo dell'espansione di un fluido nel vuoto, la dispersione e diffusione di energia nel maggior volume a disposizione. L'originale energia di ciascun gas può essere maggiormente dispersa nel maggior volume della soluzione perché la densità dei suoi microstati è aumentata e quindi sarà accessibile un maggior numero di microstati.[27]

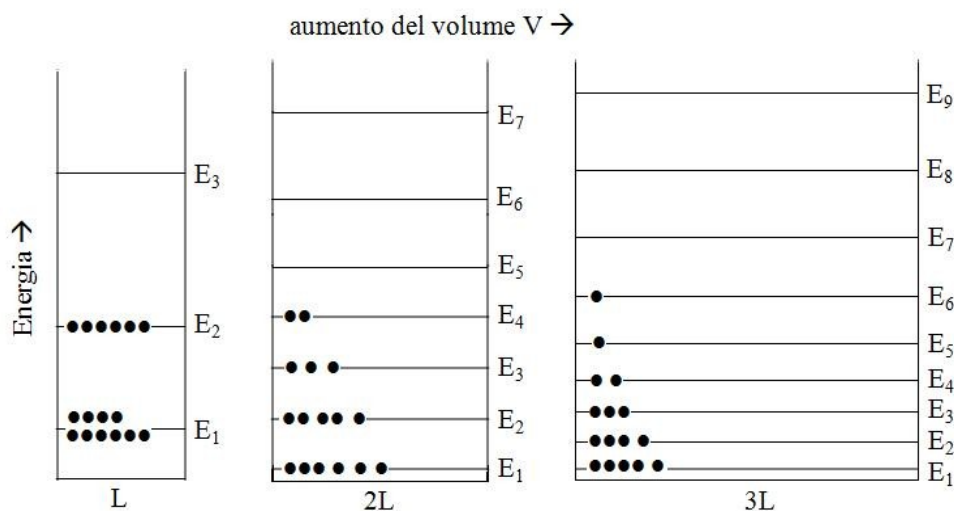


Figura 2

Ed ora...eliminiamo il disordine

Proviamo ora a spiegare gli esempi macroscopici riportati nel paragrafo “Alcuni esempi in cui il concetto di disordine è fuorviante”, di apparente contraddizione con l'enunciato della seconda legge della termodinamica, applicando però la nuova definizione di entropia (**misura del grado di dispersione e diffusione dell'energia ad una certa temperatura**). Prima di iniziare dobbiamo ricordare che, in base alla seconda legge della termodinamica **l'energia da localizzata tende spontaneamente a disperdersi nell'universo (sistema + ambiente) quando gli è permesso**. Dal punto di vista microscopico, la dispersione di energia avviene tra particelle contigue nei solidi che vibrando si trasmettono energia, o nei fluidi (liquidi e gas) attraverso particelle con moto traslazionale che si scontrano scambiandosi energia; quindi è essenziale che ci sia una interazione tra particelle per far sì che l'energia si propaghi. A questo punto ecco come possiamo interpretare i precedenti esempi alla luce di questa nuova visione della seconda legge della termodinamica e delle variazioni di entropia:

Processo (a): la spiegazione di questo processo è triviale: l'aria dell'ambiente circostante (e anche l'acqua in forma liquida) trasferisce progressivamente energia termica al ghiaccio tritato, quindi l'energia dell'universo viene maggiormente dispersa e alla fine abbiamo un sistema liquido completamente omogeneo.

Processo (b): attraverso lo scuotimento della bottiglia si trasferisce meccanicamente energia al sistema acqua/olio, ed essa permette di superare le forti interazioni intermolecolari tra le molecole di acqua da una parte e quelle di olio dall'altra, favorendo la dispersione dei due componenti, con formazione dell'emulsione; ma poi le molecole dell'acqua da una parte e dell'olio dall'altra tenderanno a riaggregarsi e a formare due fasi liquide distinte perché in questo modo riusciranno a disperdere una maggiore quantità della propria energia, attraverso la formazione di un maggior numero di interazioni con molecole dello stesso tipo e anche attraverso una maggiore libertà di gradi di movimento all'interno di ciascuna fase, poiché in questa situazione di fasi separate il volume a disposizione per ogni molecola è maggiore (i livelli energetici quantizzati sono più ravvicinati, come abbiamo visto nel caso dell'espansione del gas in un volume maggiore). In pratica, nell'emulsione iniziale le goccioline di acqua disperse nell'olio saranno molto piccole e tenderanno a riaggregarsi a causa della forte affinità chimica tra molecole uguali, con un aumento progressivo del volume delle goccioline (anche la gravità agevola l'aggregazione delle bollicine di acqua convogliandole verso il basso, per la maggiore densità dell'acqua stessa). Ciò comporterà un aumento della densità dei livelli energetici in entrambi i sistemi separati, cioè i livelli si avvicineranno, permettendo così una maggiore distribuzione di energia di movimento sui livelli traslazionali disponibili. Questo processo è favorito perché le interazioni tra molecole uguali (ad esempio tra

molecole di acqua) sono molto più forti rispetto a quelle che si erano instaurate inizialmente nell'emulsione tra molecole differenti (di acqua e di olio). Quindi l'ordine e il disordine non sono criteri fondamentali per individuare la forza motrice di questo fenomeno spontaneo. Sono le differenti proprietà chimiche dell'olio e dell'acqua che determinano tale separazione di fasi.

Processo (c): l'entropia molare standard di una sostanza a 298 K è l'energia che quella sostanza è in grado di **immagazzinare** nell'intervallo di temperature da 0 a 298 K sotto forma di energia potenziale e cinetica. Poiché abbiamo a che fare con particelle microscopiche dobbiamo applicare i principi della quantomeccanica a questi sistemi, perché tra le particelle l'energia viene scambiata in pacchetti definiti (quanti di energia). Ci sono tre differenti modi di immagazzinare energia cinetica: traslazionale, rotazionale e vibrazionale, ma nel caso degli atomi di gas nobili è rilevante solo il moto traslazionale, essendo essi gas monoatomici, perciò possiamo applicare l'equazione (3) relativa all'energia quantizzata per i moti traslazionali. All'aumentare della massa dall'elio al kripto, E_T diminuisce, cioè diminuisce la distanza tra i livelli energetici accessibili consentendo l'occupazione di un maggior numero di livelli. L'energia verrà maggiormente dispersa e l'entropia molare standard del kripto sarà maggiore di quella dell'elio.[28]

Seconda legge e sistemi organizzati

Cerchiamo ora di chiarire qualcosa che in realtà è sotto gli occhi di tutti, ma che finora, in base al classico sillogismo "l'entropia misura il disordine, l'entropia dell'universo aumenta, quindi l'universo diventa sempre più disordinato", sembrava davvero un grande dilemma per tutti, gente comune, studenti e diciamo, anche molti docenti.

Se la tendenza naturale è verso un massimo disordine, come è possibile che in natura esistano molte forme di vita, altamente strutturate ed organizzate?

La seconda legge della termodinamica ci dice che l'energia (di tutti i tipi, potenziale, cinetica, luminosa, ecc.) da localizzata e concentrata fluisce spontaneamente per diventare più dispersa e diffusa nello spazio, se gli è permesso.

Pensiamo alla luce delle stelle che si diffonde per irraggiamento anche nel vuoto interstellare. Quindi il flusso spontaneo è unidirezionale, verso la dispersione e diffusione, come l'acqua in una cascata può soltanto cadere in basso, mai ritornare spontaneamente in alto.

Ora, noi chimici sappiamo bene che atomi e molecole si attraggono: tra le molecole l'attrazione è generalmente debole, ma tra molti tipi di atomi l'attrazione è così forte che essi si legano, cioè formano aggregati estremamente compatti e stabili, le molecole appunto, tanto che sono necessarie temperature molto elevate, anche di migliaia di gradi per alcune sostanze, per separare nuovamente gli atomi costituenti. Quindi le molecole hanno meno energia dei rispettivi atomi separati, cioè quando si forma un legame si espelle energia dal nuovo sistema formatosi, l'energia viene dispersa e diffusa sotto forma di energia di movimento o sotto altre forme, anche come radiazione elettromagnetica a volte.

La termodinamica tratta le trasformazioni chimiche attraverso l'equazione di Gibbs per la variazione dell'energia libera di reazione $\Delta_r G = \Delta_r H - T\Delta_r S$ o meglio, quando sono disponibili i valori di energia libera molare standard di formazione $\Delta_f G^\ominus$ per i reagenti ed i prodotti, con l'equazione:

$$\Delta_r G^\ominus = \sum_{\text{prodotti}} \nu \Delta_f G^\ominus - \sum_{\text{reagenti}} \nu \Delta_f G^\ominus \quad (7)$$

Quando tre o più atomi si uniscono a formare una molecola essi saranno poi disposti nello spazio in modo ordinato, con una geometria ben precisa e stabile nel tempo, come ad esempio gli atomi di idrogeno e di ossigeno nelle molecole dell'acqua (il valore di $\Delta_f G^\ominus$ per l'acqua è $-237.13 \text{ kJ mol}^{-1}$) e gli atomi di idrogeno e carbonio nel metano (il valore di $\Delta_f G^\ominus$ per il metano è $-50.72 \text{ kJ mol}^{-1}$).[29] Inoltre molte molecole possono collidere in modo violento con altri tipi di molecole e formare molecole completamente nuove. Vi sono milioni di sostanze che hanno meno energia libera degli elementi di cui sono costituite.

Quindi, udite udite: la seconda legge della termodinamica **favorisce energeticamente** la formazione di molecole geometricamente organizzate e complesse, rispetto ai semplici atomi degli elementi. Questo è un fatto, non una nostra opinione! Esso nega la classica interpretazione della seconda legge della termodinamica come "legge del disordine"!

Contrariamente all'opinione diffusa, **la seconda legge permette l'organizzazione**, anzi la favorisce, ma chiede che contemporaneamente alla formazione di strutture ordinate vi sia un complessivo aumento nell'universo della dispersione dell'energia, come infatti si verifica nella formazione di sostanze dai propri elementi (pensate alla formazione fortemente esotermica dell'acqua da idrogeno e ossigeno gassosi). La dissipazione di energia svolge perciò un ruolo fondamentale nella creazione di sistemi strutturati e complessi.

Seconda legge, sistemi viventi ed energia di attivazione

Consideriamo ora le sostanze di cui sono composti gli esseri viventi: esse sono più stabili, meno energetiche degli elementi che le compongono, ma possono a loro volta trasformarsi in sostanze ancora più stabili attraverso un processo fondamentale di degradazione, l'ossidazione (combinazione dei vari elementi che compongono le sostanze con l'ossigeno) a dare gli ossidi, che sono sostanze tra le più stabili che si conoscono. Stiamo quindi procedendo "giù per la

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!

collina” dell’energia, come mostrato nella Figura 3.

L’ultimo stadio permesso dalla seconda legge è quindi l’assenza di vita, solo ossidi. Allora a questo punto potremmo pensare: ma come mai invece le sostanze ad energia intermedia hanno una loro esistenza temporale, seppur non indefinita nel tempo? Che cosa ci protegge da una morte immediata per dispersione (esplosione) di energia, come previsto dalla termodinamica?

L’energia di attivazione!

Ogni trasformazione chimica, seppur favorita termodinamicamente (come la formazione di composti dagli elementi) non avviene se non vi è inizialmente una energia aggiuntiva sufficiente a superare la barriera di attivazione del processo di formazione di nuove sostanze (Figura 4), come tutti i chimici ben sanno dalle lezioni di cinetica chimica. L’energia di attivazione è la **chiave** dell’esistenza delle forme viventi e ordinate. Essa costituisce la **barriera di protezione** contro una immediata ossidazione all’aria dei nostri corpi e la conseguente dispersione dell’energia, come previsto dalla seconda legge.[30]

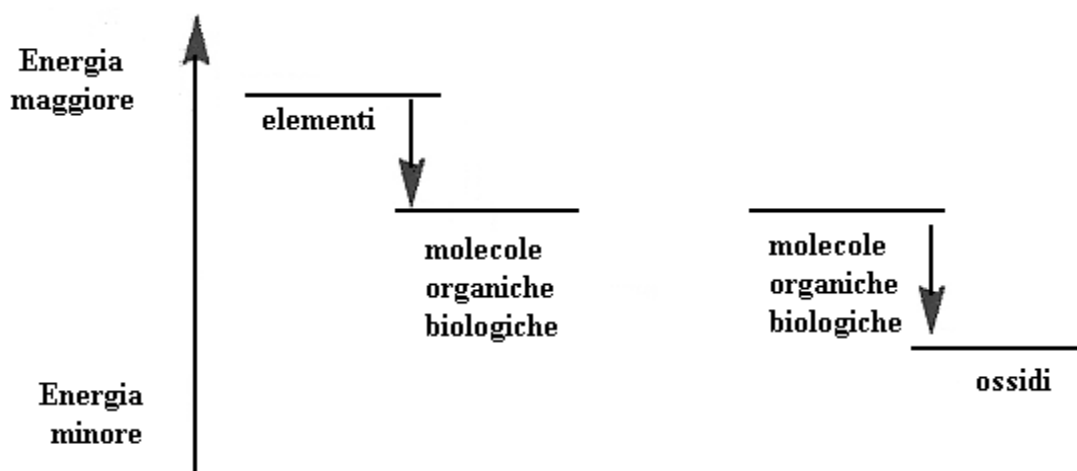


Figura 3

L’energia di attivazione per la gran parte dei processi ossidativi delle molecole biologiche è sufficientemente elevata per consentire a temperatura ambiente la formazione e l’esistenza di strutture complesse e ordinate e quindi la vita. Ecco il significato dell’ultima parte della seconda legge: “...se gli è permesso”.

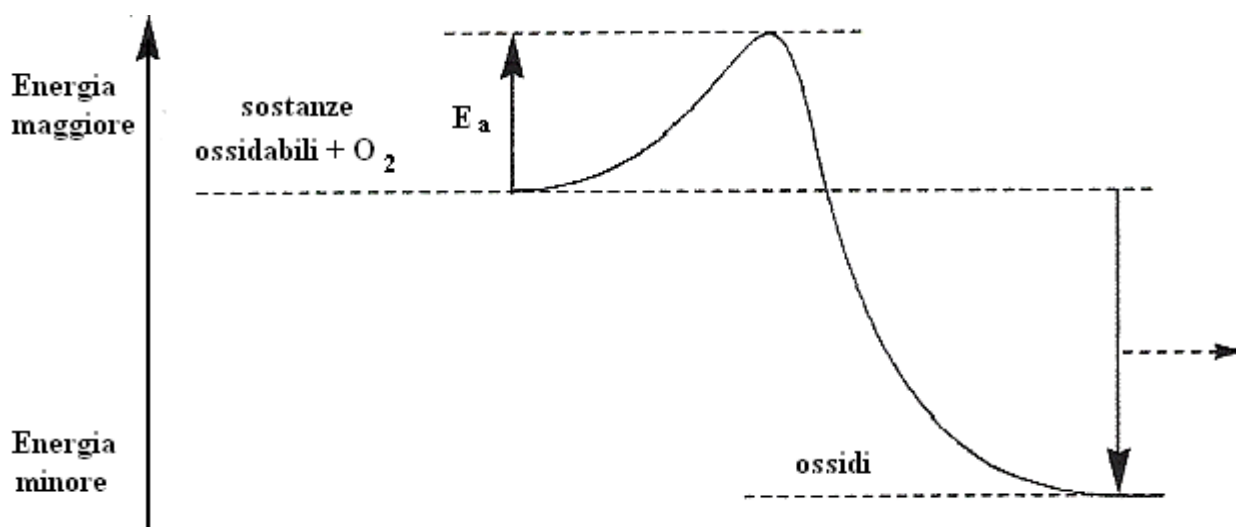


Figura 4

Inoltre, noi ci nutriamo di energia in forma di molecole dei nostri cibi. Le ossidiamo spontaneamente (un processo permesso energeticamente dalla seconda legge) e mentre la loro energia è dispersa e diffusa nel nostro corpo, usiamo una parte di essa per “spingere” in modo non spontaneo alcune nostre molecole “su per la collina” e creare nuove so-

stanze con una energia maggiore, che fungano da riserve di energia, come l'ATP dall'ADP nel processo di fosforilazione ossidativa, e anche altre sostanze biologiche essenziali alla vita (Figura 5). Allo stesso tempo, sempre in accordo alla seconda legge, abbiamo riscaldato il nostro corpo attraverso la dispersione spontanea di parte dell'energia. Le molecole di ATP sono la maggiore riserva e sorgente di energia, che viene usata per moltissimi processi (per pensare, parlare, respirare e muoversi, ed il resto per mantenere costante la temperatura corporea). Mentre pensiamo, parliamo, respiriamo, camminiamo e corriamo, trasformiamo ATP in ADP e rilasciamo energia (un processo permesso dalla seconda legge).

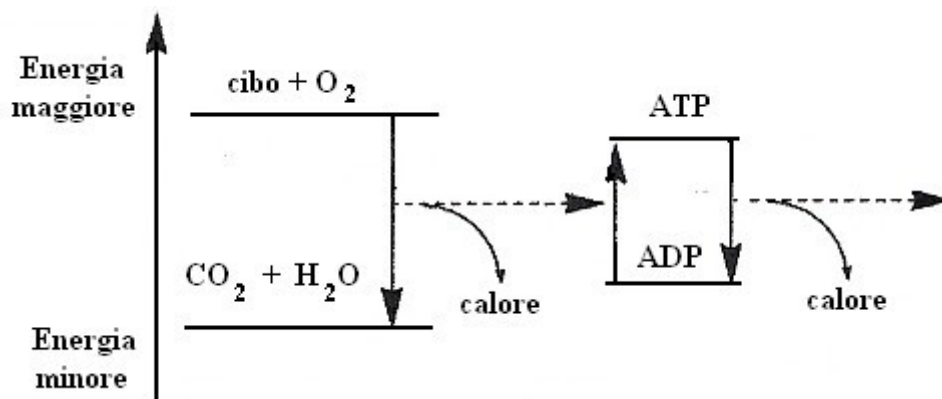


Figura 5

In fondo, la seconda legge non è poi così catastrofica e malvagia, perché la tendenza da essa predetta, la dispersione di energia, può essere volta a nostro vantaggio. Addirittura possiamo usare questa dispersione di energia per “far risalire su per la collina” gli elementi che fanno parte di ossidi, cioè le sostanze a minor contenuto energetico in assoluto. Ad esempio possiamo effettuare la separazione del ferro elementare (elevato contenuto in energia) dall'ossido (minor contenuto in energia) utilizzando carbone, cioè usiamo un processo spontaneo (la formazione di CO_2) per effettuarne un altro non spontaneo (l'estrazione del ferro dal suo ossido). L'importante è che nel processo spontaneo vi sia un rilascio di energia sufficiente a superare la barriera di attivazione nella formazione della sostanza (in questo caso l'elemento ferro) a maggior energia rispetto a quella d'origine (l'ossido di ferro).

La ridefinizione della seconda legge in base al concetto di dispersione dell'energia, piuttosto che ad un aumento del disordine, chiarisce ancor meglio che la seconda legge definisce una **tendenza** ma che è poi la cinetica a prevedere, in base alle energie di attivazione, la **fattibilità** delle trasformazioni chimiche. Tutto deriva, in definitiva, dalla fonte primaria di energia, il nostro sole, che irradia e diffonde la propria energia, una parte è dispersa ma per il resto viene utile al nostro pianeta. I chimici hanno da tempo compreso l'importanza di un maggiore e migliore utilizzo dell'energia del sole, non solo nell'ottica della ricerca di soluzioni tecnologiche ecosostenibili ma anche in quella di una didattica della chimica innovativa,[31] che permetta agli allievi di avere una visione più semplice ed immediata delle trasformazioni della natura. Visione tanto più decisiva per una maggiore consapevolezza nelle scelte che la nostra società deve affrontare riguardo ai grandi problemi dell'umanità, tra cui l'approvvigionamento energetico, al quale è naturalmente connesso il dibattito attuale sulle fonti energetiche rinnovabili e non rinnovabili.

...e per finire: entropia in gruppi di oggetti macroscopici

Ritorniamo ora all'analogia della cameretta sempre più disordinata usata dal nostro immaginario docente nell'introduzione di questo articolo. Non possiamo considerare la cameretta come un sistema termodinamico, perché gli oggetti macroscopici di cui è composta non sono tutti in contatto termico tra di loro. L'identificazione di un aumento di entropia in seguito allo spostamento di oggetti macroscopici è un errore molto comune nelle analogie utilizzate per spiegare il significato dell'entropia. Un altro classico esempio è quello del mescolamento di un mazzo di carte appena aperto.[32] Però la variazione di entropia nello spostamento degli oggetti della cameretta dello studente e nel mescolamento del mazzo di carte è precisamente la stessa: **ZERO!** Il numero di microstati energetici accessibili in ciascuno degli oggetti macroscopici è infatti rimasto **invariato**.

Come sottolinea il Prof. Lambert:[7c] “The movement of macro objects from one location to another by an external agent involves no change in the objects' physical (thermodynamic) entropy. The agent of movement undergoes a thermodynamic entropy increase in the process. There is no spontaneous tendency in groups of macro objects to become disorderly or randomly scattered. The tendency in nature toward increased entropy does not reside in the arran-

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!

gement of any chemically unchanging objects but rather in the external agent moving them. It is the sole cause of their transport toward more probable locations.” (traduzione: “*Lo spostamento di oggetti macroscopici da una posizione ad un'altra da parte di un agente esterno non comporta alcuna variazione di entropia negli oggetti stessi. NON esiste alcuna tendenza spontanea in gruppi di oggetti macroscopici a diventare disordinati o ad essere spostati in modo disordinato. La tendenza spontanea in natura verso un aumento di entropia non risiede nell'arrangiamento disordinato di oggetti chimicamente invariati quanto piuttosto nell'agente esterno che li muove. Esso è la sola causa del loro trasporto verso posizioni più probabili*”). Di conseguenza, soltanto l'agente del movimento di oggetti macroscopici subisce un aumento di entropia durante il processo![33]

Conclusioni: il motore e il contachilometri

Conversando recentemente tramite e-mail con il Prof. Lambert, egli ci ha confidato che prima degli ultimi 12 anni aveva sempre pensato all'entropia come ad un concetto misterioso e una misura del disordine, proprio come la gran parte dei chimici e fisici, poi ha avuto tempo di leggere approfonditamente gli scritti di Lord Kelvin, di Clausius e parte di quelli di Boltzmann, ed è giunto ad una nuova comprensione dell'entropia che concettualmente sembra funzionare alla perfezione. A tal proposito, egli ci ha fornito una metafora illuminante, che riportiamo in questo articolo (il Prof. Lambert non si offenderà...):

“...So, do not consider me as one of the "greats" of thermodynamic, rather as a sincere professor who, through some study and much thought, was lucky enough to see the relatively simple relationship between the second law – energy disperses...if it can - and its MEASURE, entropy. That relationship is like a beautiful Italian car that has a powerful engine (if it is allowed to run!) and a measure of its mileage, an odometer. The ENGINE is the second law....the ODOMETER is the measure of how far/how much it runs, entropy. Traditionally, that relationship has been terribly turned around - as though an odometer had something to do with causing the car run: entropy does NOT force or make energy spread out - entropy only measures how much!” (traduzione: “...non considerarmi come un grande della termodinamica, quanto piuttosto come un sincero professore che, attraverso lo studio e la riflessione, è stato abbastanza fortunato nel “vedere” la semplice relazione tra la seconda legge – l'energia si disperde...se gli è permesso – e la sua misura, l'entropia. Questa relazione è come una bella auto italiana con un potente motore - se gli è permesso di correre! – e una misura della strada percorsa, il contachilometri. Il motore è la seconda legge... il contachilometri è la misura di quanta distanza l'auto percorre, l'entropia. Nel tempo questa relazione è stata assurdamente capovolta – come se il contachilometri avesse qualcosa a che fare con la causa per la quale l'auto corre: l'entropia non forza o spinge l'energia a disperdersi e diffondere – l'entropia misura soltanto in quale misura l'energia si disperde!”).

Storicamente una profonda trasformazione nelle concezioni scientifiche richiede del tempo perché fortemente contrastata dalla comunità accademica. I sostenitori del vecchio paradigma non cambiano facilmente idea, neanche di fronte a prove evidenti a favore del nuovo. Per mettere in discussione il vecchio paradigma, l'elenco delle anomalie deve essere lungo.[34] Ma qui NON si vuole stravolgere o mettere in discussione una legge di natura (la seconda legge della termodinamica), che è naturalmente ancora valida, si vuol solo eliminare un uso improprio del termine “disordine” che può condurre ad una errata interpretazione della reale “forza motrice” delle trasformazioni (la naturale tendenza dell'energia a disperdersi e diffondere) e indirizzare l'attenzione sul reale significato di uno strumento concettuale (l'entropia) creato per “misurare” una “grandezza misurabile” (la dispersione e diffusione di energia). Il Prof. Lambert era ben conscio della difficoltà nel riuscire a modificare il consolidato uso del “disordine” come descrittore dell'entropia, invece negli USA la cosa si sta rivelando più agevole di quanto egli potesse inizialmente supporre. Speriamo che anche in Italia possa essere così....

Riferimenti bibliografici

- [1] a) M. F. Granville, “Student Misconceptions in Thermodynamics”, *J. Chem. Educ.* **1985**, *62*, 847-848. b) R. Baierlein, *Am. J. Phys.* **1994**, *62*, 15-26. c) L. S. Bartell, “Stories to Make Thermodynamics and Related Subjects More Palatable”, *J. Chem. Educ.* **2001**, *78*, 1059-1067. d) M. Sözbilir, J. M. Bennett, “A Study of Turkish Chemistry Undergraduates' Understandings of Entropy”, *J. Chem. Educ.* **2007**, *84*, 1204-1208. e) W. M. Christensen, D. E. Meltzer, C. A. Ogilvie, “Student ideas regarding entropy and the second law of thermodynamics in an introductory physics course”, *Am. J. Phys.* **2009**, *77*, 907-917.
- [2] a) N. C. Craig, E. A. Gislason, “First Law of Thermodynamics; Irreversible and Reversible Processes”, *J. Chem. Educ.* **2002**, *79*, 193-200. b) O. Redlich, “Entropy: a modern discussion”, *J. Chem. Educ.* **1975**, *52*, 374-376. c) J. P. Lowe, “Entropy: Conceptual Disorder”, *J. Chem. Educ.* **1988**, *65*, 403-406. d) H. Beall, “Probing Student Misconceptions in Thermodynamics with In-Class Writing”, *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 1056-1057. e) R. S. Ochs, “Thermodynamics and Spontaneity”, *J. Chem. Educ.* **1996**, *73*, 952-954. f) J. H. Lechner, “Visualizing Entropy”, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 1382-1385. g) J. A. Campbell, “Reversibility and Returnability. Or, when can you return again?” *J. Chem. Educ.* **1980**, *57*, 345.
- [3] F. Marchetti, R. Pettinari, C. Pettinari, A. Cingolani, C. Di Nicola, “Sviluppo Storico del Concetto di Equilibrio Chimico”, *CnS Chimica nella Scuola*, **2009**, *31*, 18-29.
- [4] F. Marchetti, C. Pettinari, R. Pettinari, C. Di Nicola, A. Cingolani, “L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier”, *CnS Chimica nella Scuola*, **2010**, *32*, 36-46.
- [5] M. Barón, “With Clausius from Energy to Entropy”, *J. Chem. Educ.* **1989**, *66*, 1001-1004.

[6] a) W. Brostow, “Between Laws of Thermodynamics and Coding of Information: There is nothing wrong with Carnot's cycle, but contemporary thermodynamics may be more useful”, *Science* **1972**, *178*, 123-126. b) D. F. Styer, “Insight into entropy”, *Am. J. Phys.* **2000**, *68*, 1090-1096. c) J.-B. Brissaud, “The meanings of entropy”, *Entropy* **2005**, *7*, 68-96. d) J. M. Burgers, “Entropy and disorder” *Br. J. Philos. Sci.* **1954**, *5*, 70–71. e) K. K. Darrow, “The concept of entropy” *Am. J. Phys.* **1944**, *12*, 183–196. f) P. G. Wright, “Entropy and disorder” *Contemp. Phys.* **1970**, *11*, 581–588.

[7] a) H. S. Leff, “Thermodynamic entropy: The spreading and sharing of energy”, *Am. J. Phys.* **1996**, *64*, 1261-1271. b) H. F. Leff, “Entropy, its language, and interpretation” *Found. Phys.* **2007**, *37*, 1744-1766. c) F. L. Lambert, “Shuffled cards, messy desks, and disorderly dorm rooms – examples of entropy increase? Nonsense!”, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 1385-1387. d) F. L. Lambert, “Disorder – a cracked cruch for supporting entropy discussion”, *J. Chem. Educ.* **2002**, *79*, 187-192. e) F. L. Lambert, “Entropy is simple, qualitatively”, *J. Chem. Educ.* **2002**, *79*, 1241-1246. f) F. L. Lambert, H. S. Leff, “The correlation of standard entropy with enthalpy supplied from 0 to 298.25 K”, *J. Chem. Educ.* **2009**, *86*, 94- 98. g) H. S. Leff, F. L. Lambert, “Melding two approaches to entropy”, *J. Chem. Educ.* **2010**, *87*, 143. h) H. S. Leff, “What if entropy were dimensionless?”, *Am. J. Phys.* **1999**, *67*, 1114-1122.

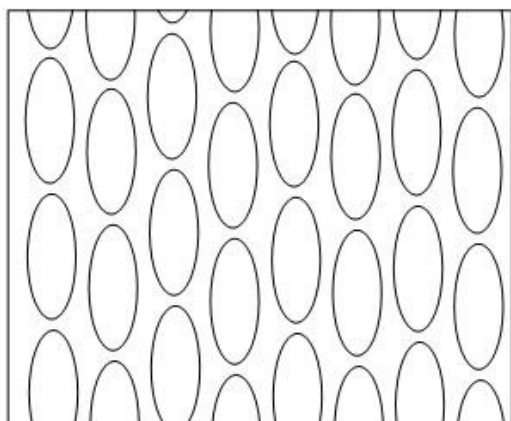
[8] <http://entropysite.oxy.edu/>

[9] Nella sezione “what’s new” del sito del Prof. Lambert è riportato un elenco, continuamente aggiornato, di nuove edizioni di testi universitari anglosassoni di Chimica Generale e Chimica Fisica che hanno completamente o quasi eliminato l’uso del concetto di disordine.

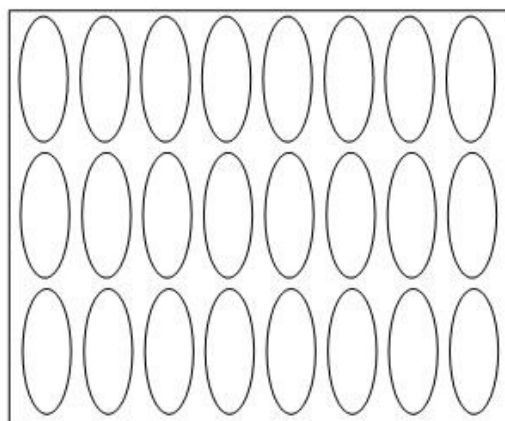
[10] K. G. Denbigh, “Note on Entropy, Disorder and Disorganization”, *Br. J. Philos. Sci.* **1989**, *40*, 323-332.

[11] Dati di entropia molare standard da: P. Altin, J. De Paula, *Physical Chemistry*, 9 ed., Oxford University Press, Oxford, UK, **2010**, tabella 2.8, Resource Section, pag. 922.

[12] In effetti vi sono molti sistemi per i quali è possibile osservare transizioni ordine-disordine che sembrano contraddire la seconda legge della termodinamica. Un classico esempio è quello di alcune classi di cristalli liquidi. I cristalli liquidi sono sostanze che non passano direttamente dallo stato liquido a quello solido al diminuire della temperatura. In particolari condizioni questi materiali, costituiti da molecole polari con forme generalmente allungate, sono infatti in grado di organizzarsi in fasi intermedie che presentano caratteristiche sia dello stato liquido che di quello solido cristallino. Ad elevate temperature essi sono normali liquidi isotropici, con il tipico disordine della fase liquida, ma abbassando la temperatura essi possono subire transizioni attraverso fasi successive. Si possono riscontrare differenti fasi di parziale ordine, in cui le molecole si aggregano in funzione della loro forma e polarità. Ad es. la *fase nematica*, in cui gli assi lunghi delle molecole sono orientati preferenzialmente nella stessa direzione ma le loro posizioni parziali sono ancora sparpagliate, o la *fase smettica* in cui oltre ad una orientazione degli assi lunghi nella stessa direzione si aggiunge un ordine posizionale mono- o bi-dimensionale, dovuto al fatto che in questa fase le molecole si organizzano in strati (vedi Figura seguente).



fase nematica



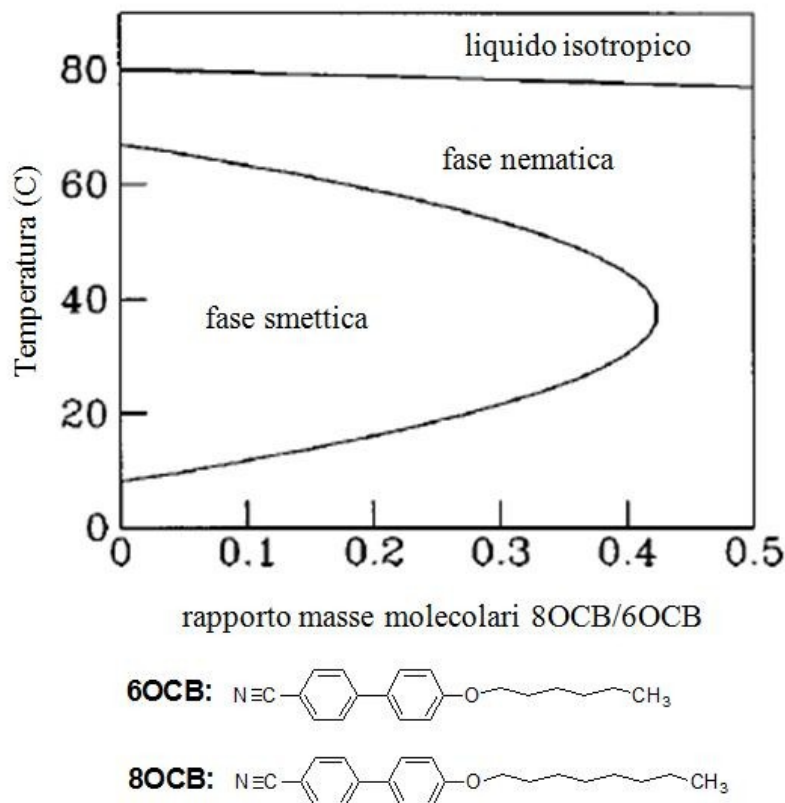
fase smettica

Tra queste due fasi è logico riconoscere il maggior ordine nella seconda, perciò al diminuire della temperatura ci si dovrebbe ragionevolmente attendere la transizione da liquido isotropico (molto disordinato) a fase nematica (abbastanza disordinata) poi a fase smettica (abbastanza ordinata) fino ad ottenere il solido vero e proprio (sistema ordinato). Ebbene vi sono diversi sistemi di ciano derivati contenenti due anelli benzenici, ad esempio la sostanza esilossiciano difenile (6OCB), che al diminuire della temperatura, passano attraverso le seguenti trasformazioni di fase:

liquido | isotropico → fase nematica → fase smettica → fase nematica → solido

Cioè, continuando a raffreddare il sistema, dalla fase smettica, altamente ordinata, si forma di nuovo la fase nematica meno ordinata! Ancora una volta siamo di fronte a situazioni (le cosiddette “re-entrant phases”, fasi rientranti) per le quali la semplice applicazione del binomio entropia-disordine a processi di raffreddamento non fornisce previsioni corrette. Si potrebbe obiettare che le fasi rientranti siano qualcosa di qualitativamente diverso rispetto alle precedenti fasi nematiche, ma esperimenti su miscele come il sistema ottilossiciano difenile/esilossiciano difenile (dove l’ottilossiciano difenile, 8OCB, è un derivato molto simile al precedente che però non presenta alcuna fase smettica al diminuire della temperatura) mostrano invece che non vi è alcuna differenza qualitativa tra la fase nematica e quella rientrante del derivato esilossiciano difenile (vedi Figura seguente).

Entropia: misura del disordine?...o della dispersione di energia?!



Quindi la fase nematica presenta un contenuto entropico che può essere maggiore ma anche minore della fase smettica, nonostante quest'ultima sia qualitativamente sempre la più ordinata (per ulteriori approfondimenti: P. E. Cladis, "Reentrant Phase Transitions in Liquid Crystals" in *Physical Properties of Liquid Crystals*, D. Demus, J. Goodby, G. W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill Eds., Wiley, Weinheim, Germany, **1999**, Ch. 6.4, p. 289. D. Guillon, P. E. Cladis, J. Stamatoff, "X-ray study and microscopic study of the reentrant nematic phase", *Phys. Rev. Lett.* **1978**, *41*, 1598-1601. J. D. Lister, R. J. Birgeneau, "Liquid crystal phases and phase transitions", *Phys. Today* **1982**, *35*, 26-33. S. Singh, "Phase transitions in liquid crystals", *Phys. Rep.* **2000**, *324*, 107-269). Si possono riscontrare nella recente letteratura molti altri esempi di sistemi e processi che possono essere tranquillamente considerati possibili in base alla seconda legge della termodinamica, a patto però di abbandonare la vecchia idea che la maggiore entropia di un sistema sia legata ad uno stato macroscopico maggiormente disordinato. È possibile consultare ad esempio: M. Hansen, K. Anderko, *Constitution of Binary Alloys*, McGraw-Hill, New York, **1958**; D. A. Young, *Phase Diagrams of the Elements*, University of California Press, Berkeley, **1991**; R. J. Birgeneau, "Novel magnetic phenomena and high-temperature superconductivity in lamellar copper oxides", *Am. J. Phys.* **1990**, *58*, 28-40; C. Lobban, J. L. Finney, W. F. Kuhs, "The structure of a new phase of ice", *Nature* **1998**, *391*, 268-270; I.-M. Chou, J. G. Blank, A. F. Gohcharov, H.-K. Mao, R. J. Hemley, "In situ observations of a high-pressure phase of H₂O ice", *Science* **1998**, *281*, 809-812; M. Adams, Z. Dogic, S. L. Keller, S. Fraden, "Entropically driven microphase transitions in mixtures of colloidal rods and spheres", *Nature* **1998**, *393*, 349-352.

[13] Clausius scrisse: "I prefer going to the ancient languages for the names of important scientific quantities, so that they mean the same thing in all living tongues. I propose, accordingly, to call *S* the **entropy** of a body, after the Greek word "**transformation**." I have designedly coined the word *entropy* to be similar to **energy**, for these two quantities are so analogous in their physical significance, that an analogy of denominations seems to be helpful." A. Ben-Naim in "A Farewell to Entropy Statistical Thermodynamics Based on Information", World Scientific Publishing, Singapore, **2008**, Preface, p. xvi.

[14] I. K. Howard, "S is for entropy. U is for energy. What was Clausius thinking?", *J. Chem. Educ.* **2001**, *78*, 505-508, e riferimenti ivi riportati.

[15] Un fondamentale concetto da tenere bene a mente è infatti quello di sistema termodinamico. Quando si fa riferimento ad un sistema termodinamico, esso **NON** può essere assimilato alla cameretta di uno studente. Infatti la cameretta è composta da molti oggetti macroscopici, cioè molti sistemi termodinamici, ma, attenzione, gli oggetti non sono tutti in contatto termico tra di loro. Alcuni potrebbero esserlo, ma molti sono distanti gli uni dagli altri, perciò non possono essere considerati come un unico sistema termodinamico. Ricordiamo infatti che un **sistema termodinamico**, per definizione, è **una porzione di materia costituita da un numero enorme di particelle microscopiche in continuo contatto termico tra loro e con l'ambiente** circostante. Un sistema termodinamico è quindi una porzione di materia costituita da particelle che possono scambiare energia tra loro, nei solidi attraverso le vibrazioni delle particelle contigue, mentre nei liquidi e gas, dove il movimento rotazionale e traslazionale è permesso, anche attraverso collisioni. Ne segue perciò che un singolo oggetto macroscopico, essendo costituito da un numero enorme di particelle in contatto termico tra loro, può essere considerato un sistema termodinamico, ma **NON** la cameretta con molti oggetti macroscopici (libri, giornali, CD, DVD, vestiti e così via...) perché essi non possono interagire termicamente gli uni con gli altri, cioè non possono scambiare energia direttamente tra loro.

- [16] H. Helmholtz, "Wissenschaftliche Abhandlungen", J. Balrth Ed., Leipzig, **1883**, vol. 2, pag. 972.
- [17] J. W. Gibbs, "Collected works", Yale University Press, New Haven, CT, **1928**, vol. 1, pag. 418. J. W. Gibbs, "The Scientific Papers of J. Willard Gibbs", Constable, London, 1906, vol. 1, p. 418, reprinted by Dover, New York, **1961**.
- [18] "...one must assume that an enormously complicated mechanical system represents a good picture of the world, and that all or at least most of the parts of it surrounding us are initially in a very ordered—therefore very improbable— state ... whenever two or more small parts of it come into interaction with each other, the system formed by these parts is also initially in an ordered state, and when left to itself it rapidly proceeds to the disordered most probable state." L. Boltzmann, "Lectures of Gas Theory"; S. G. Brush translator, University of California Press, Berkeley, CA, **1964**, pag. 442-443.
- [19] A. Sommerfield, "Thermodynamics and Statistical Mechanics. Lectures in Theoretical Physics", Academic Press, New York, **1956**, vol. 5, pag. 213.
- [20] E. I. Kozliak, F. L. Lambert, "Order-to-disorder' for entropy change? Consider the numbers!", *Chem. Educator* **2005**, *10*, 24-25.
- [21] K. J. Laidler, "The world of physical chemistry", Oxford University Press, Oxford, **1995**, pag. 127-128 e 318-319.
- [22] a) E. Aquilini, "Il filo di Arianna e...i modelli scientifici", *CnS La Chimica nella Scuola* **2003**, *25*, 19-21. b) E. Niccoli, "Le rappresentazioni dei concetti scientifici per una didattica della chimica in età precoce", *CnS La Chimica nella Scuola*, **2003**, *25*, 108-117.
- [23] D. F. Styer, "Entropy and Evolution", *Am. J. Phys.* **2008**, *76*, 1031-1033: in questo articolo l'autore riporta diversi riferimenti di pubblicazioni di "scienziati creazionisti", dimostrando l'inconsistenza delle posizioni creazioniste che vorrebbero basarsi su concetti termodinamici quali l'entropia, come misura del grado di disordine di un sistema.
- [24] Un interessante articolo sui diversi significati dell'entropia in differenti contesti, e sulle implicazioni linguistiche a livello di approccio didattico è il seguente: J. Haglund, F. Jeppsson, H. Strömdahl, "Different Senses of Entropy— Implications for Education", *Entropy* **2010**, *12*, 490-515.
- [25] G. Villani, "Complesso e organizzato", Franco Angeli s.r.l., Milano, 2008, cap. 4, par. 4, pag. 115.
- [26] a) F. L. Lambert, "Configurational Entropy Revisited" *J. Chem. Educ.* **2007**, *84*, 1548-1550. b) F. L. Lambert, E. I. Kozliak, "Residual Entropy, the Third Law and Latent Heat" *Entropy*, **2008**, *10*, 274-284. c) E. I. Kozliak, "Overcoming Misconceptions about Configurational Entropy in Condensed Phases", *J. Chem. Educ.* **2009**, *86*, 1063-1068.
- [27] Come indicato dal Prof. Craig, "The 'entropy of mixing' might better be called the 'entropy of dilution'" (N. C. Craig, "Entropy Analysis", Wiley, New York, **1992**, p. 92) cioè piuttosto che parlare di entropia di mescolamento, come se il mescolamento di due o più fluidi apporti un differente contributo all'aumento di entropia, si dovrebbe invece ragionare in termini di entropia da diluizione. La spontaneità del mescolamento di due o più fluidi non ha assolutamente nulla a che fare col mescolamento in sé; gas e liquidi (ideali) si mescolano spontaneamente perché le originali energie sono più disperse su un maggior numero di microstati più ravvicinati nella nuova situazione di maggior volume (E. F. Meyer, "Thermodynamics of "Mixing" of Ideal Gases. A Persistent Pitfall" *J. Chem. Educ.* **1987**, *64*, 676).
- [28] Per approfondimenti consultare: A. H. Jungermann, "Entropy and the Shelf Model: a Quantum Physical Approach to a Physical Property", *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1686-1694.
- [29] Dati di energia libera molare standard da: P. Altkin, J. De Paula, Physical Chemistry, 9 ed., Oxford University Press, Oxford, UK, **2010**, tabelle 2.6, 2.7 e 2.8, Resource Section, pagg. 918-925.
- [30] a) F. L. Lambert, "Why don't things go wrong more often? Activation Energies: Maxwell's Angels, Obstacles to Murphy's Law" *J. Chem. Educ.* **1997**, *74*, 947-948. b) F. L. Lambert, "Chemical Kinetics: as Important as the Second Law of Thermodynamics?" *Chem. Educator* **1998**, *3*, 1-6.
- [31] a) J. S. Cantrell, "Solar Energy Concepts in the Teaching of Chemistry", *J. Chem. Educ.* **1978**, *55*, 41-42. b) G. Condolo, E. Roletto, "L'energia. Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica, parte prima", *CnS La Chimica nella Scuola* **1999**, *21*, 53-63. c) G. Condolo, E. Roletto, "L'energia. Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica, parte seconda", *CnS La Chimica nella Scuola* **1999**, *21*, 79-88. d) E. Roletto, A. Regis, G. Condolo, "L'energia. Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica, parte terza", *CnS La Chimica nella Scuola* **1999**, *21*, 148-157.
- [32] Riguardo al nostro precedente articolo sull'approccio all'equilibrio chimico attraverso l'analogia con il gioco delle carte (R. Pettinari, C. Pettinari, A. Cingolani, C. Di Nicola, F. Marchetti, "Utilizzo di analogie nell'insegnamento del concetto di equilibrio", *CnS La Chimica nella Scuola* **2009**, *31*, 85-96) qualcuno potrebbe contestare che anche noi avremmo dovuto porre maggiore attenzione ad utilizzare la metafora del mazzo di carte per rappresentare un sistema termodinamico in equilibrio, cioè una soluzione di sostanze chimiche interagenti tra loro. In effetti avremmo dovuto dare maggiore enfasi al processo di mescolamento e distribuzione delle carte, che può essere visto in analogia all'interazione termica tra le particelle di un sistema reale. Il costante mescolamento serve ad illustrare il processo di distribuzione dell'energia termica (moti molecolari) tra le particelle delle sostanze chimiche interagenti.
- [33] Agenti esterni come i terremoti, gli uragani, i tornado, sono temporanee ed accidentali accumulazioni di energia, la cui formazione è perfettamente in accordo con la seconda legge della termodinamica.
- [34] a) E. Roletto, "La scienza, la sua natura, i suoi metodi", IRIDIS, Stampa MG, Torino, **2007**, cap. 3, pag. 47-75. b) E. Roletto, A. Regis, M. Ghirardi, "La struttura gerarchica della chimica di base", *CnS La Chimica nella Scuola*, **2006**, *28*, 77-85. c) T. Kuhn, "La struttura delle rivoluzioni scientifiche", Einaudi, Torino, **1979**. d) S. Shapiro, "La rivoluzione scientifica", Torino, Einaudi, **2003**.



Vincenzo Balzani

LA NATURA NON HA FRETTA, MA L'UMANITA' SI'

(Giacomo Ciamician)

Intervista

a

Vincenzo Balzani

di

Andrea Latini*, **Francesca De Porzi**^o, **Michela Lisi**^o,
Sofia Presta^o, **Simone Salvitti**^o

Liceo Scientifico Statale "G. Marconi" Colleferro (Roma)

andrea.latini@istruzione.it

* Insegnante presso il Liceo Scientifico Statale

"G. Marconi" - Colleferro (Roma)

^oAlunni della classe IV D indirizzo P.N.I. del Liceo Scientifico Statale

"G. Marconi" - Colleferro (Roma)

Riassunto

Nell'ambito delle attività del Piano Lauree Scientifiche, a cui la nostra Scuola ha aderito nell'anno scolastico 2010-2011, è nato l'interesse da parte di alcuni alunni di approfondire temi legati agli aspetti quotidiani della Chimica. L'attenzione è stata focalizzata su un argomento di grande attualità come quello dell'energia e, in modo particolare, sulle fonti rinnovabili, prima tra tutte quella solare. Ne abbiamo parlato con il prof. Vincenzo Balzani, chimico di fama mondiale, che ci ha concesso un'intervista sul tema della fotosintesi artificiale.

Abstract

During the 2010-2011 academic year, a group of students completing required activities for their Science Degree, became interested in investigating issues related to the daily aspects of Chemistry. A special interest focused on today's interest in other sources of energy and especially renewable sources of energy, first of all solar energy. We talked to Prof. Vincenzo Balzani, an internationally renown chemist, who granted us an interview on the topic of artificial photosynthesis.

Introduzione

I combustibili fossili hanno rappresentato per tutto il XX secolo l'unica fonte di energia per alimentare tutte le attività dell'uomo. Oggi lo scenario è diverso: le riserve fossili sono in via di esaurimento, la richiesta di energia a livello mondiale cresce a ritmi esponenziali, l'uso delle fonti fossili sta producendo danni all'ambiente e alla salute dell'uomo. E' urgente quindi trovare alternative percorribili e sostenibili.

Il pianeta Terra riceve ogni giorno dal Sole una quantità enorme di energia che purtroppo non può essere impiegata come tale ma deve poter essere convertita in una forma utilizzabile. La fotosintesi artificiale si configura come un tentativo di convertire questa energia in un combustibile, l'idrogeno, che può essere facilmente immagazzinato, trasportato e utilizzato per fornire energia direttamente nei motori a scoppio o nelle celle a combustibile.

Di questo abbiamo parlato con il prof. Vincenzo Balzani che, come è noto, è uno dei massimi esperti a livello mondiale nel campo della Fotochimica e, in particolare, in quello della conversione dell'energia solare. Il prof. Balzani ci ha rilasciato gentilmente un'intervista che riportiamo integralmente qui di seguito.

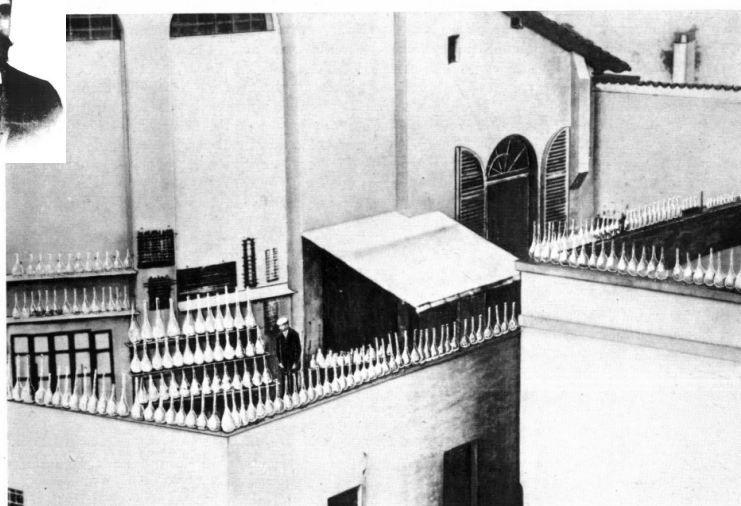
L'intervista

Il titolo del nostro lavoro è una frase del famoso chimico italiano Giacomo Ciamician: "La natura non ha fretta, ma l'umanità sì" [1]. Ce la commenta brevemente?

Una frase molto impegnativa, ma anche molto bella. La natura si è evoluta in un tempo lunghissimo e ha trovato le soluzioni migliori senza che ci fosse nessuno che le mettesse fretta, si è evoluta da sola. Noi, purtroppo, dal tempo di Giacomo Ciamician, ma, specialmente negli ultimi anni, viviamo sempre con l'ansia di voler fare, con una pressione fortissima di dover far meglio. L'umanità purtroppo è fatta così e, secondo me, sta anche esagerando in molte cose, per esempio nella drammatica corsa ad avere sempre di più e sempre più in fretta. E' una corsa che ci porterà ad avere dei guai.

Infatti, l'odierna civiltà dell' "usa e getta" è pericolosissima: noi prendiamo qualsiasi risorsa, ne facciamo degli oggetti, li usiamo per poco tempo e poi li gettiamo via e, così facendo, trasformiamo molto rapidamente le risorse in rifiuti. Bisognerà che freniamo in questa frenesia di trasformare tutto e di consumare sempre di più. Siamo portati a pensare che più consumiamo più siamo felici ma, in realtà, non è affatto così ed è importante tener conto dei limiti dell'ambiente in cui viviamo, del pianeta su cui abitiamo.

Giacomo Ciamician (1857-1922) il profeta dell'energia solare



CIAMICIAN passant eu revue les centaines de flacons exposés au soleil sur le toit de son laboratoire.

Fig. 1

Può spiegarci i vari stadi del processo di fotosintesi artificiale?

La fotosintesi artificiale, va chiarito subito, è un tentativo di usare la luce solare per produrre combustibili, quindi, non si vuole imitare la fotosintesi naturale dalla quale si ottengono cibi.

Per produrre un combustibile mediante la luce solare bisogna prima di tutto scegliere la sostanza dalla quale partire. Bisogna usare una sostanza comune molto diffusa, per questo si pensa all'acqua e alla possibilità di scinderla in H_2 e O_2 , perché l' H_2 , una volta prodotto, è un combustibile molto efficiente che si può usare in due modi: in un motore a scoppio utilizzando la sua reazione con l' O_2 in cui riforma acqua, oppure in una cella a combustibile dove ancora una volta l' H_2 si ricombina con l' O_2 e dà energia elettrica e acqua (Fig. 2).

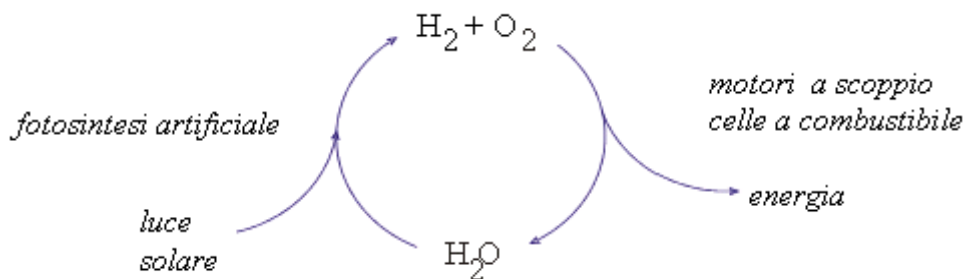


Fig. 2

Allora, è chiaro che è molto attraente questo tentativo di scindere l'acqua con la luce solare perché, in linea di principio, risolverebbe sia il problema dell'energia, producendo appunto un combustibile prezioso, sia il problema ambientale, perché usando il combustibile si produrrebbe solo acqua e non sostanze dannose per l'ambiente.

Sulla carta sembra un processo molto facile, in realtà, quando si cerca di metterlo in pratica sorgono molti problemi. Il primo è che l'acqua, di per sé, non assorbe la luce solare del visibile che è quella che può eccitare elettronicamente le molecole, quindi l'acqua non assorbendo luce solare non può utilizzarla. Allora è necessario aggiungere una sostanza, un sensibilizzatore, che assorba la luce solare e, eccitandosi, metta a disposizione l'energia necessaria al processo che vogliamo effettuare. Deve essere una sostanza in grado di svolgere la stessa funzione svolta dalla clorofilla nella fotosintesi naturale, che assorba la luce solare e poi faccia da intermediario, mettendo a disposizione l'energia assorbita e tornando allo stato iniziale. Quindi, c'è questo primo punto, raccogliere, cioè assorbire, la luce solare.

Il secondo punto è questo: poiché la luce è fatta di fotoni che arrivano uno alla volta, quando un fotone colpisce una molecola del sensibilizzatore la eccita e può trasferire un elettrone da questa molecola ad un'altra. Insomma un fotone causa la separazione di una carica positiva da una parte e di una carica negativa dall'altra. La luce funziona così con le molecole, un fotone muove un elettrone. Ora sorge un problema: se si vuole scindere l'acqua in modo che si formi ossigeno molecolare si devono avere due molecole di acqua in cui i due atomi di ossigeno abbandonino gli idrogeni e vadano a unirsi per formare la molecola O_2 . Questo processo può avvenire solo se vengono utilizzate simultaneamente 4 cariche. Ma, ogni fotone che arriva produce solo una carica, quindi, è ovvio che per riuscire a compiere questo processo, dopo che i fotoni uno alla volta abbiano prodotto ciascuno una carica, ci sia un sistema che queste cariche le tiene lì, le conserva, finché non sono diventate in numero sufficiente da poter entrare assieme nel meccanismo della reazione con l'acqua. Quindi, mentre la luce produce la separazione di una carica positiva da una carica negativa, quando si va a scindere l'acqua in H_2 e O_2 si ha bisogno, dalla parte dell' O_2 , di quattro cariche positive che lavorano collettivamente e, dalla parte dell' H_2 , di due cariche negative che lavorano collettivamente. Mentre l'interazione di luce e materia è in rapporto 1:1, un fotone muove un elettrone, nella generazione dei prodotti che voglio ottenere dalla separazione dell'acqua sono coinvolte più cariche, per cui è necessario utilizzare catalizzatori, sostanze che raccolgono le cariche che arrivano una alla volta dal sistema fotochimico e poi le utilizzano collettivamente per il processo che serve, ed è una cosa piuttosto complicata.

Schematicamente, nel processo di fotosintesi artificiale ci sono tre punti fondamentali: il primo punto è assorbire la luce; secondo, la luce deve generare in modo efficiente una separazione di cariche, perciò servono prima delle molecole antenna per assorbire la luce e poi un centro di reazione che separi le cariche; queste cariche separate, terzo punto, vanno convogliate sui catalizzatori che le devono usare in modo collettivo.

Quindi, sono tre i passaggi principali della fotosintesi artificiale: assorbimento di luce, separazione delle cariche e reazione multielettronica sui catalizzatori [2] (Fig. 3).

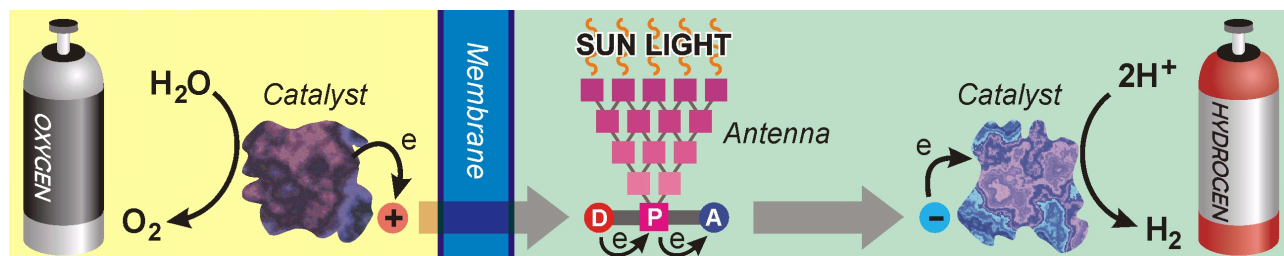


Fig.3

A noi sembra che uno dei problema maggiori nella realizzazione di un sistema per la fotosintesi artificiale sia quello che riguarda proprio la scelta dei catalizzatori per lo sviluppo di ossigeno e idrogeno dall'acqua. Quali devono essere i loro requisiti? Su quali catalizzatori ci si sta orientando?

Sono sostanze molto particolari, molto strane. A seconda del processo da effettuare, abbiamo bisogno di uno specifico catalizzatore. Per esempio, per lo svolgimento dell' H_2 va bene il platino, ma deve essere platino colloidale. Questo perché i catalizzatori sono sostanze che lavorano con la loro superficie, cioè, la superficie di un catalizzatore ha siti particolarmente attivi che sono in grado di legarsi temporaneamente con atomi e radicali. Quando si sviluppa H_2 è necessario che un atomo di H vada da una molecola di acqua al catalizzatore che lo tiene lì legato temporaneamente finché non arrivi un altro atomo di H e il catalizzatore permetta ai due atomi legati alla sua superficie di combinarsi per dare la molecola. Insomma, il catalizzatore offre punti d'appoggio temporanei sulla sua superficie in attesa di formare i prodotti definitivi.

Per lo sviluppo dell' O_2 la cosa è molto più complicata perché studiando la fotosintesi naturale ci si è resi conto, pochi anni fa, che per poter svolgere O_2 dall'acqua, bisogna che vengano coinvolti anche protoni per bilanciare le cariche. Insomma, queste reazioni non sono solo reazioni di trasferimenti elettronici ma sono reazioni di trasferimenti elettronici e protonici, troppo complicate da spiegare in questa sede. Fatto sta che per la separazione dell' O_2 i catalizzatori più in-

indicati al momento sono ossidi di metalli preziosi tipo rodio e iridio, molto costosi, che devono avere, anche in questo caso, un grande sviluppo superficiale. Qui entrano in gioco le nanotecnologie che consentono di ottenere particelle molto piccole in modo da offrire una grande superficie alla reazione C'è stato, recentemente, qualche progresso in questo campo perché un ricercatore americano, di origini italiane, Daniel Nocera [3], ha dimostrato, anche se ci sono tuttora esperimenti in corso, che un metallo come il cobalto, che è molto meno prezioso, legato a gruppi fosfato, formerebbe un catalizzatore capace di svolgere ossigeno in modo reversibile.

Questi processi catalitici sono molto complicati perché devono esserci legami che si rompono e contemporaneamente legami che si formano e, tutto questo, rimanendo a bassi livelli energetici. La ricerca va avanti, ma questo problema della catalisi penso sia il punto cruciale per il momento.

Anche l'integrazione dei catalizzatori con gli altri sistemi molecolari che riproducono i singoli stadi della fotosintesi artificiale e cioè la cattura della luce, il trasferimento dell'energia al centro di reazione e la conseguente separazione di carica, ci è sembrata un'altra difficoltà da superare. E' così?

È così perché il sistema è complicato. Bisogna mettere insieme tre pezzi che devono compiere funzioni differenti le quali devono svolgersi una dopo l'altra e l'una alimenta quella che viene dopo. L'antenna, l'insieme delle molecole che assorbono l'energia solare, deve assorbire la luce e, poi, trasferire tutta l'energia assorbita in un punto preciso dove deve essere collocato il centro di reazione che usa l'energia per separare le due cariche. Questi due componenti vanno legati fra di loro, la natura ce l'ha fatta benissimo in un modo complicatissimo che non possiamo imitare.

Noi, in laboratorio, cerchiamo prima di costruire antenne con la sintesi chimica unendo fra loro molecole separate, poi, una volta ottenuta, l'antenna va legata chimicamente al centro di reazione, il quale poi a sua volta va collegato ai catalizzatori. Ma, non si è ancora riusciti ad ottenere in modo del tutto soddisfacente, e abbastanza economico, nessuna delle tre parti e, poi, queste parti, una volta ultimate e collaudate separatamente, vanno unite in modo che poi si "conoscano", cioè una trasferisca all'altra le informazioni che ha ottenuto, cioè la capacità di convertire energia. Eh, sono cose complicate...

Dopo aver risolto tutte le difficoltà a livello molecolare o, più precisamente, supramolecolare, come si passa alla realizzazione di un sistema macroscopico che produca idrogeno?

Se effettivamente si riuscisse a mettere insieme i tre componenti essenziali (antenna, centro di reazione e catalizzatore) e, se fossimo in grado di produrre tante di queste unità complesse in soluzione acquosa, dovrebbero funzionare, con l'avvertenza però che se si irradia una soluzione acquosa che contiene uno di questi sistemi si produrrebbero simultaneamente H_2 e O_2 mescolati tra di loro. La cosa è pericolosa perché H_2 e O_2 , come è noto, reagiscono tra di loro. Allora, è necessario che le unità catalitiche che da una parte producono O_2 e dall'altra H_2 , vengano separate da una membrana in modo tale che i due processi avvengano da parti opposte, così da raccogliere i due gas separatamente. Ma, sembra che questa non sia una difficoltà insormontabile perché la ricerca sulle membrane è in grande progresso, si costruiscono membrane di tutti i tipi. In ogni caso non è che possiamo sperare che la fotosintesi artificiale sia fattibile entro pochi anni, ci vorrà ancora molto tempo.

Tra quanti anni pensa che potremo finalmente ricavare energia dall'idrogeno prodotto con la fotosintesi artificiale?

Spero presto. Noi tutti speravamo presto quando abbiamo cominciato nel 1975, ma è un presto che è diventato tardi. In ogni caso, però, noi siamo capaci già di produrre H_2 attraverso la luce solare con i pannelli fotovoltaici, producendo energia elettrica con la quale fare l'elettrolisi dell'acqua. Dal punto di vista industriale l' H_2 si produce già con questo processo, attraverso la conversione di energia solare in energia elettrica. Considerate che un pannello fotovoltaico non c'è in natura! C'è la fotosintesi naturale che ha un'efficienza bassissima, meno dell'1%, mentre i pannelli fotovoltaici oggi hanno un'efficienza del 14-15-16%. Quindi, l'uomo è stato molto bravo a fare questi pannelli i quali, sia pure passando attraverso l'energia elettrica, sono in grado di produrre un combustibile.

La fotosintesi artificiale, se vorrà affermarsi, quindi, dovrà essere economicamente competitiva con la generazione di H_2 attraverso pannelli fotovoltaici che funzionano già bene. È vero che c'è un passaggio in più, poiché questi pannelli prima trasformano l'energia solare in energia elettrica e, poi, questa in energia chimica attraverso la produzione di H_2 ; però, c'è anche il fatto che, con la fotosintesi artificiale, ora siamo molto indietro, non sappiamo che rendimenti potrà avere, non sappiamo per esempio se le sostanze che usiamo per fare antenne e catalizzatori funzioneranno per 20 o 30 anni, come invece funziona un pannello fotovoltaico.

Quindi, io direi senza aspettare miracoli, che potrebbero anche avvenire, intanto cominciamo a utilizzare l'energia solare come siamo già capaci di fare, con i pannelli fotovoltaici che la ricerca scientifica migliorerà sempre di più.

In che modo potrebbe risultare migliore l'utilizzo della fotosintesi artificiale piuttosto che dei pannelli solari?

Semplicemente perché c'è un passaggio in meno, cioè si converte direttamente l'energia solare in energia chimica, producendo idrogeno. Però, praticamente ci sono moltissime incognite: per esempio le antenne artificiali sono fatte di

Intervista a Vincenzo Balzani

sostanze organiche simili alla clorofilla che c'è in natura; ma, in natura, ogni volta che una molecola di clorofilla si degrada, ne viene prodotta una nuova. Bisogna tener conto che quando la luce interagisce con la materia, in particolare con le molecole antenna, può darsi che in piccola percentuale esse si decompongano; in tal caso dovrebbero essere sostituite e questo costa.

Io direi di non farsi troppe illusioni sulla fotosintesi artificiale che anche a me piace tanto e che concettualmente è molto valida, però, non si può nascondere che ci sono molte incognite, soprattutto sul piano economico, rispetto ad altri sistemi quali ad esempio la produzione di idrogeno con i pannelli fotovoltaici di cui abbiamo parlato prima.

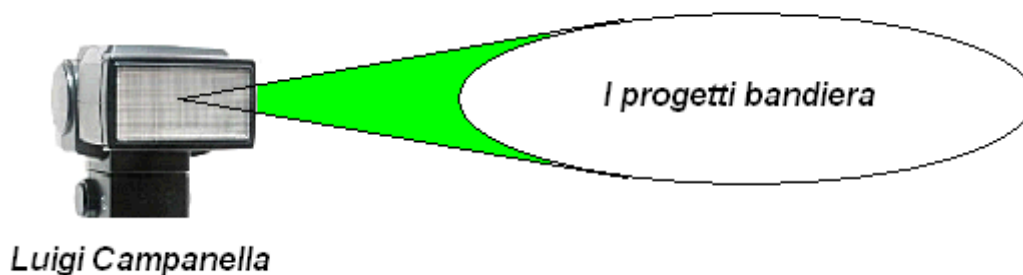
Conclusioni

Siamo convinti che la principale sfida scientifica e tecnologica dei prossimi anni sarà quella di realizzare sistemi per immagazzinare ed utilizzare l'enorme quantità di energia che ogni giorno proviene dal Sole. Oggi siamo già in grado di produrre combustibile dal Sole, ad esempio idrogeno, utilizzando i pannelli fotovoltaici. Il processo di fotosintesi artificiale per la produzione di idrogeno, concettualmente molto valido, potrà affermarsi solo se i chimici, come speriamo, riusciranno a renderlo competitivo, soprattutto sul piano economico, rispetto agli altri sistemi.

Ci piace concludere questo lavoro con le parole di Giacomo Ciamician pronunciate quasi cento anni fa in occasione dell'*VIII International Congress of Pure and Applied Chemistry* tenutosi a New York nel 1912: "...*life and civilization will continue as long as the sun shines!*".

Bibliografia

- [1] G. Ciamician, *Science*, 1912, **36**, 385.
- [2] V. Balzani, A. Credi, M. Venturi, *ChemSusChem*, 2008, **1**, 26.
- [3] A.J. Esswein, Y. Surendranath, S.Y. Reece, D.G. Nocera, *Energy Environ. Sci.*, 2011, **4**, 499.
Y. Surendranath, M.W. Kanan, D.G. Nocera, *J. Am. Chem. Soc.*, 2010, **132** (46), 16501.
D.A. Lutterman, Y. Surendranath, D.G. Nocera, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, **131** (11), 3838.
M.W. Kanan, D.G. Nocera, *Science*, 2008, **321**, 1072.

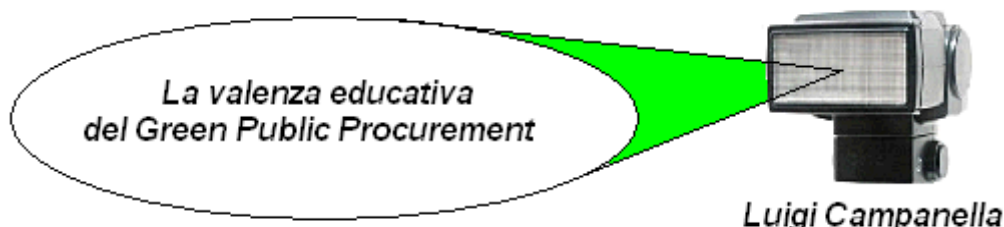


Le nanotecnologie diventano sempre più presenti nella nostra vita e il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca le inserisce tra i cosiddetti "progetti bandiera", cioè studi condotti da atenei ed enti pubblici di ricerca che godranno di finanziamenti mirati e aggiuntivi rispetto al fondo di finanziamento ordinario.

Anche la scuola si adegua. Le nanotecnologie divengono oggetto di approfondimenti didattici, non solo nella scuola secondaria di II grado, come sarebbe più immediato attendersi, ma anche in quella primaria. Nel numero 17 del magazine *Science in school* (scaricabile dal sito www.scienceinschool.org) il direttore Eleanor Hayes ha pubblicato un'interessante rassegna internazionale dei materiali didattici disponibili in Rete sull'argomento. Il sito "Time for nano" (www.timefornano.eu) – citato nell'articolo della Hayes – è estremamente utile per introdurre alcune idee sulla dimensione nanoscopica della materia già a livello di scuola primaria. È un sito animato da Science Centres europei, coordinato dalla Fondazione Idis . Città della Scienza di Napoli, e di cui fa parte il Deutsches Museum. Si presenta in nove lingue, tra cui non manca l'italiano, sicché le varie proposte didattiche possono essere scaricate senza difficoltà.

Si parlerà di energia e cambiamenti climatici, di acqua e di cellule staminali nell'edizione di quest'anno di "Scienza Attiva – I giovani e la scienza partecipata", progetto nato nel 2008 grazie al sostegno della Provincia di Torino e della Regione Piemonte e rivolto alle scuole secondarie di II grado. Studenti piemontesi di sessanta classi lavoreranno a stretto contatto con una trentina di scienziati, tra i quali Nicola Armaroli, Luca Bonfanti, Stefano Caserini, Pierluigi Claps, Luca Mercalli, Margherita Venturi e presenteranno alle istituzioni locali alcune proposte per approfondire le questioni sollevate durante gli incontri. Il progetto venne ideato dal Centro Interuniversitario Agorà Scienza, istituito dai quattro atenei piemontesi (Università di Torino, Politecnico di Torino, Università del Piemonte Orientale, Università di Scienze Gastronomiche), in risposta alla tanto dibattuta questione; quali sono i modi migliori per avvicinare i giovani delle scuole superiori alle complesse tematiche scientifico-tecnologiche di grande rilevanza sociale? Scienza Attiva si articola in sei fasi: formazione degli insegnanti alle tecniche di democrazia deliberativa e presentazione dei temi (in un

incontro preliminare dal vivo); rivelazione delle conoscenze pregresse; studio e ricerche a partire dal materiale fornito, dialogo con gli esperti (in apposite sessioni di domande e risposte sul web); costruzione di scenari ed elaborazione di proposte; infine, condivisione e presentazione dei risultati. Gran parte di questo processo si svolge on-line sulla piattaforma web www.scienzattiva.eu e si conclude con un incontro finale dal vivo, in cui i ragazzi hanno l'occasione di consegnare alle istituzioni locali le proposte e le raccomandazioni formulate nel corso del progetto.



Il Green Public Procurement (GPP) rappresenta per le scuole un efficace strumento di politica ambientale di grande valenza educativa. Data la scarsa familiarità delle scuole con gli acquisti verdi, il GPP può essere inizialmente implementato su piccola scala per poi essere allargato a un numero sempre maggiore di prodotti. Data la particolare natura dell'istituzione scolastica, è opportuno che le azioni sul piano gestionale siano intimamente intrecciate con un'azione didattica di educazione ambientale nella quale sia rilevante il ruolo della Chimica. L'implementazione del Green Public Procurement (GPP), ovvero di un piano di acquisti verdi nella pubblica amministrazione, rappresenta uno degli strumenti più efficaci per promuovere la sostenibilità presso gli enti pubblici. Il GPP prevede infatti una serie di passi che in linea di massima non necessitano di complicate concertazioni con soggetti esterni, richiedendo accordi e strategie in buona parte interne alla struttura di appartenenza. Nel caso il GPP coinvolga una istituzione scolastica, le sue ricadute si arricchiscono di effetti a medio e lungo termine derivanti dalla continua opera educativa a cui tale ente è preposto. Molti prodotti e servizi verdi comportano un maggiore costo, ma questo viene ampiamente compensato sul lungo periodo; inoltre la sempre maggiore diffusione del GPP crea nel tempo un vantaggio competitivo all'industria verde stessa, che in virtù della maggiore produzione può abbassare i prezzi dei prodotti più costosi. Se tutte le scuole esistenti applicassero il GPP avremmo conseguenze visibili su larga scala: infatti la capillarità sul territorio delle istituzioni scolastiche comporterebbe un bilancio complessivo costi-benefici decisamente favorevole in un lasso di tempo contenuto. Purtroppo non sempre le scuole sono disponibili ad adottare piani strategici in chiave ecologica per mentalità, scarsa informazione, errata percezione del rischio e per mancanza di fondi. Per le scuole la riqualificazione "verde" è, alla luce della situazione odierna, un obbligo morale; tale riqualificazione deve essere accompagnata da coerenti percorsi educativi sulla sostenibilità rivolti non solo agli studenti, ma agli operatori scolastici tutti: solo la cultura del sostenibile permette la politica del sostenibile; la buona riuscita di quest'ultima a sua volta non farà altro che avvalorare il percorso culturale intrapreso, in una continua e crescente sinergia. Non tutti sanno che esiste un GPP obbligatorio per legge. Un regolamento generalmente disatteso impone alla P.A. di acquistare un minimo di prodotti il cui marchio garantisce processi di produzione e materiali eco-compatibili: Esistono già documenti predisposti per le gare d'appalto, i cui criteri ambientali sono stati decisi sulla base di vaste consultazioni con gli stakeholders. Tali documenti sono stati elaborati a livello europeo e comprendono nove gruppi di prodotti (in relazione a carta, prodotti per l'igiene, accessori per l'ufficio, materiali da costruzione, trasporto, arredi, materiale elettrico, alimenti, prodotti tessili e utensili da giardino). I criteri ambientali possono quindi essere attinti da quelli già predisposti incorporandoli nelle gare d'appalto specifiche dell'istituto. È importante tenere conto del Life Cycle Costing nelle decisioni di acquisto; inoltre non è da trascurare l'opportunità di effettuare procedure di acquisto in congiunzione con altro ente o istituzione. Il previsto report finale serve per verificare il raggiungimento degli obiettivi, identificare eventuali problemi e trovare le soluzioni. La pubblicazione del report è molto importante ai fini comunicativi, per dimostrare all'utenza della scuola e alla cittadinanza in generale gli obiettivi raggiunti e l'impegno profuso, rafforzando in questo modo sia le motivazioni del personale coinvolto sia l'appoggio politico (e in generale di enti esterni) eventualmente ottenuto. Il report deve contenere i dati di monitoraggio relativi alle attività di acquisto e al grado di soddisfazione dell'attività formativa. È importante sottolineare che quest'ultima non può prescindere dalla Chimica quale filo conduttore di un percorso che accompagni l'applicazione del GPP all'interno di un istituto scolastico, soprattutto se si tratta di una scuola secondaria di secondo grado.

Un nuovo inizio

Marco Ciardi

Università di Bologna - Dipartimento di Filosofia
Storia della Scienza e della Tecnica

Nel primo fascicolo del 2011, Luigi Campanella, nuovo direttore responsabile della rivista, ha indicato nell'editoriale i percorsi attraverso i quali intende far sviluppare CnS, ribadendo la convinzione che la storia della chimica rappresenti una parte importante nell'economia del progetto. La scelta coraggiosa di ospitare una rubrica storica (affidata al sottoscritto) all'interno della rivista di didattica della SCI va a Pierluigi Riani, che ringrazio calorosamente per tutto il lavoro svolto in questi anni alla guida di CnS. Grazie all'iniziativa di Riani, la rivista ha potuto ospitare dal 2005 numerosi contributi di studiosi affermati e di giovani ricercatori, ampie rassegne e saggi inediti. Con un unico obiettivo: quello di mostrare che la chimica è una parte integrante della nostra cultura e che il suo insegnamento deve andare ben oltre un insieme di nozioni e formule astratte.

Anche Campanella è da sempre un sostenitore della validità del rapporto tra storia e didattica, come egli stesso sottolinea nel suo sentito ricordo di Leonello Paoloni, al quale sinceramente mi associo. Paoloni è stato uno dei chimici a cui spetta maggiormente il merito di aver consentito lo sviluppo delle riflessioni sulla didattica della chimica e di aver favorito la crescita degli studi di storia della chimica in Italia. Nel 1984 Paoloni scriveva che «dal punto di vista dell'insegnamento della chimica nella scuola italiana», l'introduzione della storia della disciplina avrebbe potuto servire «a modificarne l'attuale condizione di marginalità», contribuendo a formare «nel discente una cultura personale moderna, aperta alla considerazione di tutte le implicazioni sociali della scienza, a fornirgli un abito critico fondato sulla lettura storica della scienza».¹ Paoloni ben sapeva che la conoscenza della storia del pensiero scientifico contribuisce a creare un progetto educativo corretto, restituendo alla scienza il suo vero significato culturale: infatti mostra come essa non sia soltanto un insieme ripetitivo di schemi e procedimenti non modificabili, ma consista anche (o soprattutto) in ricerca ed invenzione. La separazione della scienza dal suo racconto storico genera invece effetti dannosi e spesso non rimediabili. Tagliando alla radice i suoi legami con la storia, la scienza (dunque anche la chimica) ha creato una barriera (che tuttavia è inesistente) fra sé ed il mondo umanistico, venendo meno nell'interesse non soltanto degli studenti, ma dell'opinione pubblica in generale. Ma la scienza «è un'arte umanistica», ha affermato John C. Polanyi, premio Nobel per la chimica nel 1986: «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».²

Per spiegare questo agli studenti, non soltanto è necessario recuperare nell'ambito dell'esposizione della scienza i suoi evidenti contenuti filosofici e culturali, ma anche sottolineare che la formazione di ogni scienziato (e a 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 poesia e la letteratura, a partire da uno dei grandi padri della scienza moderna, cioè Galileo Galilei. Come ha scritto Primo Levi (che di chimica se ne intendeva), «la distinzione tra arte, filosofia, scienza non la conoscevano Empedocle, Dante, Leonardo, Galileo, Cartesio, Goethe, Einstein, né gli anonimi costruttori delle cattedrali gotiche, né Michelangelo; né la conoscono i buoni artigiani di oggi, né i fisici esitanti sull'orlo del conoscibile».³

Non è certo un caso che la storia della scienza, soprattutto in Italia, si sia sviluppata all'interno delle facoltà umanistiche, in particolare quelle di Lettere e Filosofia.⁴ Gli storici della scienza (che esercitano questa disciplina in senso professionale, e non per curiosità o come passatempo occasionale) da anni si stanno impegnando nel tentativo di rivendicare il ruolo culturale della chimica e di salvaguardare un'immagine positiva della scienza. Cosa sanno gli scien-

1. L. Paoloni, *La storia nella didattica chimica: modi, contesti, attualità*, in *Orientamenti di ricerca educativa e didattica della chimica*, a cura di E. Ferroni, Firenze, Quaderni del Centro di Documentazione, n. 1, Firenze, 1984, p. 65.

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

3. Cit. in B. Arpaia, *Non due ma mille culture*, in «Il Sole-24 ore», 10 luglio 2011, p. 33.

4. Sulla nascita della storia della scienza in Italia a livello universitario: F. Abbri, *La storia della scienza in Italia*, in *Storia della scienza e della medicina. Bibliografia critica*, a cura di P. Corsi e P. Weindling, Roma-Napoli, Theoria, 1990, pp. 549-574.

ziati e gli insegnanti di discipline scientifiche di questo lavoro e di questi sforzi? Sono realmente interessati a stringere rapporti di collaborazione con gli umanisti a favore di una battaglia comune in nome del valore culturale della scienza? Il disinteresse degli scienziati (e soprattutto dei chimici) è tanto più paradossale se si pensa che la storia della scienza come disciplina professionale, non soltanto in Italia, ma a livello internazionale, ha avuto uno dei suoi padri fondatori in un chimico, Aldo Mieli, laureatosi all'Università di Pisa, collaboratore a Roma di Cannizzaro e Paternò, allievo di Ostwald a Lipsia. Contro i modelli epistemologici di Croce e le proposte scolastiche di Gentile portò avanti in maniera coraggiosa una battaglia per rivendicare il valore culturale della scienza, rimarcando l'importanza di studiarne la storia. Anche quella battaglia, purtroppo, è stata oggi dimenticata (si veda comunque proprio il mio primo articolo su CnS del 2005).

Non sorprende che Martha Nussbaum, una delle più brillanti filosofe contemporanee, abbia recentemente lanciato un grido di allarme, denunciando i rischi di un insegnamento delle discipline scientifiche in senso puramente tecnico e specialistico, qualificandolo come «diseducazione, nel senso che gli studenti si concentrano esclusivamente sulle conoscenze tecniche e sono scoraggiati dall'apprendere metodi di ricerca autonoma».⁵ Introdurre con sempre maggiore forza nella scuola secondaria una storia della cultura chimica non significa pensare ad un insegnamento dove il ruolo delle teorie e degli aspetti tecnici della disciplina debba essere dimenticato. La chimica va insegnata e gli studenti la devono apprendere, questo è ovvio. Si tratta, tuttavia, di riuscire a fare, soprattutto, un lavoro di qualità più che di quantità, di proporre un insegnamento dove venga privilegiato il racconto, rispetto all'acquisizione dei dati, dove si insista sulla esposizione di problemi piuttosto che sulla soluzione di questioni tecniche. E dove si forniscano i valori culturali della disciplina. Questo, se si ha realmente ha cuore non solo il destino della chimica come forma di sapere, ma (come sottolinea Nussbaum) la formazione dei cittadini in una società democratica.

Chi si iscrive ad un corso di laurea in chimica ha ovviamente superato il problema dell'immagine negativa della chimica (anche se spesso gli studenti non hanno una piena consapevolezza dell'importanza del ruolo culturale della loro disciplina, né molto viene fatto durante il percorso universitario per far acquisire loro tale consapevolezza). Ma cosa continuerà ad essere la chimica per tutti gli altri studenti, futuri cittadini, che non avranno mai più a che fare nella loro vita con orbitali o formule di struttura? Possiamo permetterci che tutti quanti restino con una immagine negativa della chimica? Molti studenti che si iscrivono a Filosofia provengono dal Liceo Scientifico. La motivazione addotta è in genere la stessa: «vengo a cercare risposte che la scienza non mi ha dato, perché la scienza è solo un insieme di aride e incomprensibili nozioni tecniche da imparare a memoria. In particolare detesto la chimica». Sembra dunque sempre valido il giudizio pronunciato da Renato Dulbecco qualche tempo fa: «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».⁶

Se abbiamo a cuore le sorti della nostra società non possiamo più permetterci che questo accada e ognuno di noi deve fare la sua parte. La cosiddetta 'guerra fra le due culture' deve immediatamente cessare, almeno due motivi: 1) perché non è esistita in passato (Galileo fu scienziato e umanista), ma è figlia del processo di specializzazione delle discipline; 2) perché oggi non ha ragione di esistere, in quanto ad essere minacciata, non è l'una o l'altra delle due 'culture', ma l'intera cultura (con la C maiuscola), come hanno efficacemente scritto Pietro Greco e Settimo Termini: «L'Italia soffre (ha sofferto) di una forte divaricazione tra cultura umanistica e cultura scientifica. Peggio, l'influenza del pensiero gentiliano e crociano ha portato a svalutare il valore culturale della scienza presso un vasto pubblico. E' stato sicuramente così. Riteniamo (percepriamo) che oggi non sia questo il problema centrale del paese. Non perché il problema non esista, ma perché è sovrastato da una più generale caduta dello spirito critico che spinge a svalutare la cultura tout court, scientifica o umanistica che sia. E allora «le due culture» che secondo Charles P. Snow si guardano in cagnesco, dovrebbero – è questa la nostra speranza – allearsi. Per contrastare il pericolo comune. E' un'alleanza obbligata. E non è difficile da realizzare, perché sono venute meno tutte le cause di un'antica quanto fuorviante contrapposizione».⁷

Per questo motivo, di comune accordo con il Direttore e il Comitato di Redazione, abbiamo deciso di cambiare nome alla rubrica storica di CnS, che d'ora in poi sarà *Tra passato e futuro*. Questo per sottolineare ancor di più che la storia della chimica, o più in generale, della scienza, non può essere semplicemente relegata ad un fatto di curiosità, erudizione o passatempo; la storia della scienza, infatti, è indispensabile per capire non solo la genesi e la struttura delle teorie scientifiche, ma anche per la formazione della persona nel suo complesso. Sulla base della nuova impostazione e

5. M. C. Nussbaum, *Non per profitto. Perché le democrazie hanno bisogno della cultura umanistica*, Bologna, Il Mulino, 2011, p. 144.

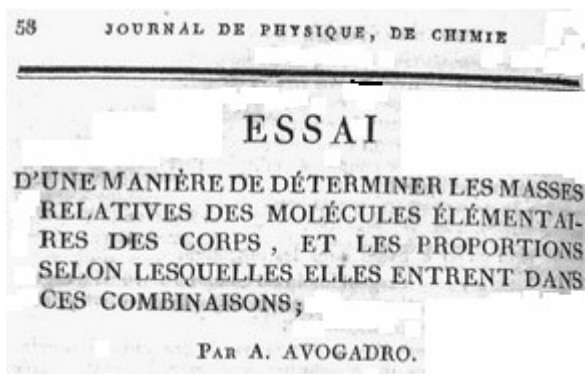
6. «Il Sole-24 ore», 4 dicembre 1994, p. 27.

7. P. Greco, S. Termini, *Contro il declino. Una (modesta) proposta per un rilancio della competitività economica e dello sviluppo culturale dell'Italia*, Torino, Codice Edizioni, 2007, p. 153.

Un nuovo inizio

del nuovo taglio assunto da CnS, anche Tra passato e futuro cercherà di essere più agile e più snella, pubblicando articoli e interventi più brevi, rispetto ai lunghi saggi che hanno caratterizzato finora la rubrica storica, affiancati da notizie, bibliografie, indicazioni di libri, dibattiti e riflessioni sulla cultura chimica.

Bicentenario dell'ipotesi di Avogadro (1811-2011)



M. GAY-LUSSAC a fait voir dans un Mémoire intéressant (*Mémoires de la Société d'Arcueil*, tome II) que les combinaisons des gaz entre eux se font toujours selon des rapports très-simples en volume, et que lorsque le résultat de la combinaison est gazeux, son volume est aussi en rapport très-simple avec celui de ses composants; mais les rapports des quantités de substances dans les combinaisons ne paroissent pouvoir dépendre que du nombre relatif des molécules qui se combinent, et de celui des molécules composées qui en résultent. Il faut donc admettre qu'il y a aussi des rapports très-simples entre les volumes des substances gazeuses, et le nombre des molécules simples ou composées qui les forment. L'hypothèse qui se présente la première à cet égard, et qui paroît même la seule admissible, est de supposer que le nombre des molécules intégrantes dans les gaz quelconques, est toujours le même à volume égal, ou est toujours proportionnel aux volumes. En effet, si on supposoit que le nombre des molécules contenues dans un volume donné fût différent pour les différens gaz, il ne seroit guère possible de concevoir que la loi qui présideroit à la distance des molécules, pût donner, en tout cas, des rapports aussi simples que les faits que nous venons de citer, nous obligent à admettre entre le volume et le nombre des molécules. Au contraire, ca

Quest'anno, com'è noto, si celebra il 150° anniversario dell'Unità d' Italia. Ed è anche l'anno internazionale della chimica. Ma nel 2011 ricorre un altro avvenimento, di portata mondiale, che riguarda il nostro paese: il bicentenario dell'ipotesi di Avogadro. La carriera di Amedeo Avogadro, che nacque a Torino nel 1776, si svolse durante una fase cruciale della storia politica e culturale italiana, lungo un arco di tempo che attraversò l'età dell'Illuminismo, il periodo napoleonico, la Restaurazione e il Risorgimento. E di questa storia Avogadro non fu soltanto spettatore, ma anche protagonista. Contrariamente a quello che ancora oggi si legge in numerosi testi, sia specialistici che di divulgazione scientifica, Avogadro non fu uno scienziato isolato dal suo tempo. La sua attività spaziò in maniera del tutto coerente fra proposte teoriche, pratiche sperimentali e possibilità di trasferimenti tecnologici, cercando anche di stabilire quale potesse essere il corretto atteggiamento che la politica e l'economia avrebbero dovuto tenere nei confronti della ricerca scientifica. Estremamente importante (e scarsamente conosciuto) fu il suo incarico di consulente scientifico in materia di brevetti per l'Accademia delle Scienze di Torino.

La sua idea (presentata alla comunità scientifica per la prima volta nel 1811 sull'importante rivista francese «Journal de Physique») che «volumi uguali di gas, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contenessero un identico numero di particelle» è stata determinante nello sviluppo della chimica moderna, consentendo di giungere all'esatta definizione dei concetti di atomo e molecola. A partire dal celebre Congresso di Karlsruhe del 1860, l'opera

di Avogadro ha da sempre rappresentato un punto di riferimento per lo sviluppo della coscienza scientifica nazionale. Nel 1911, il centenario dell'ipotesi fu ricordato con numerose iniziative. Il 24 settembre le celebrazioni si aprirono all'Accademia delle Scienze di Torino alla presenza del re Vittorio Emanuele III e di numerose autorità accademiche, civili e militari.

Nel suo discorso commemorativo, Icilio Guareschi, uno dei padri della storia della chimica in Italia, non mancò di sottolineare la coincidenza fra il centenario e il 50° anniversario dell'Unità. I motivi per ricordare la coincidenza fra i due avvenimenti non sono certo venuti meno nel 2011. Al contrario, l'esigenza di farlo si è ulteriormente rafforzata, proprio nel momento in cui sia l'unità del paese che la cultura scientifica sono sempre più minacciate e considerate con sufficienza, se non con disprezzo.

Il bicentenario dell'ipotesi di Avogadro sarà ricordato da chi scrive al XIV Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica, che si terrà a Rimini dal 21 al 23 settembre 2011 (il programma e tutte le informazioni necessarie sono disponibili sul sito del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica – www.gnfsic.it).



Il 20 e il 21 ottobre 2011, inoltre, si terrà a Torino e Vercelli un convegno interamente dedicato a celebrare il bicentenario dell'ipotesi e l'opera di Avogadro nel suo complesso. Nell'occasione saranno presentati anche l'ampliamento della Biblioteca Digitale di Amedeo Avogadro, con l'inserimento in rete della maggior parte dei manoscritti scientifici dello scienziato torinese, e il volume *Avogadro 1811* (promosso dalla Fondazione Filippo Burzio di Torino), che conterrà la trascrizione del manoscritto originale in cui Avogadro formulò per la prima volta la sua celebre ipotesi. Anche in questo caso, il programma del convegno sarà consultabile presso il sito del GNFS, o potrà essere richiesto al sottoscritto all'indirizzo di posta elettronica: marco.ciardi@unibo.it

Bibliografia:

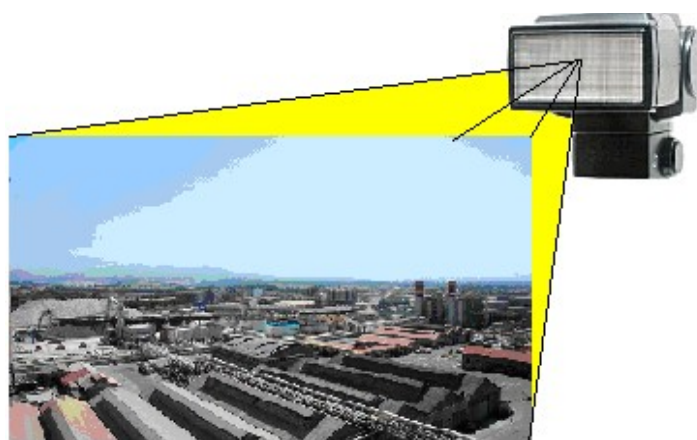
M. Ciardi, *Amedeo Avogadro. Una politica per la scienza*, Roma, Carocci, 2006.

M. Ciardi, *Reazioni tricolori. Aspetti della chimica italiana nell'età del Risorgimento*, 2010.

Curiosi, cittadini e molti studenti sui pullman per la “Solvay”

di
Valentina Domenici

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
via Risorgimento 35, 56126 Pisa
valentin@dcii.unipi.it



Vista sulla Fabbrica Solvay a Rosignano

Sabato 28 e domenica 29 maggio chi passava da Rosignano Solvay non poteva non notare il continuo, e quanto mai inusuale, via vai di pullman che attraversava in entrambi i sensi il cancello d'ingresso della Fabbrica Solvay. Dopo sei anni, non a caso in occasione dell'Anno Internazionale della Chimica, “Fabbriche Aperte” è tornata per spalancare le porte della “Solvay” di Rosignano. La mattinata di sabato è iniziata con una lodevole iniziativa, presso il Teatro “Ernesto Solvay”, che ha coinvolto oltre 200 studenti delle scuole superiori e un centinaio, tra cittadini e autorità, ad un interessante dibattito su “**Chimica... oltre il luogo comune**”. Dopo la puntuale relazione di apertura dell'Amministratore Delegato Solvay, Ing. Michèle Huart, sul rapporto tra la Fabbrica e il territorio e sulle prospettive per il Futuro, la mattina è scorsa veloce con una serie di interventi sul ruolo e l'importanza della Chimica **Oggi**. I ragazzi hanno potuto ascoltare direttamente dai protagonisti le storie di chi si occupa di Ricerca in Chimica, chi studia la Chimica e chi la insegna all'Università, chi lavora nell'Industria Chimica e chi si occupa di Comunicazione. Tra le domande più significative fatte dai ragazzi, una (forse suggerita dagli insegnanti) emerge su tutte: “*come si fa ad imparare bene la Chimica a Scuola se si fanno sempre meno ore di Laboratorio?*” Niente di più vero... Per fortuna, con l'esperienza di “Fabbriche Aperte”, ovvero con la possibilità di ascoltare voci diverse durante il dibattito e l'opportunità di visitare i Laboratori del reparto Elettrolisi, gli impianti di produzione della Soda, del bicarbonato, dei perossidi e delle poliolefine, questi ragazzi hanno potuto vedere la Chimica in un'ottica nuova, più interessante e stimolante.

Uno scritto sconosciuto di Leonardo Di Capua in difesa dell'arte chimica e de' professori di essa

Rocco Dell'Osso
roccodelosso@gmail.com

(Articolo tratto da "Fuori dalla rete", agosto 2010 – Pubblicato sul sito "Palazzo Tenta 39" di Bagnoli Irpino il 21.08.2010)



Monumento dedicato a Leonardo Di Capua in Bagnoli Irpino

I primi anni sessanta del Seicento sono stati caratterizzati da un significativo periodo di violenta polemica tra il gruppo degli Investiganti "moderni" ed i sostenitori della tradizione culturale "antichi". Diverse le battaglie culturali che, su più fronti, impegnarono quel consesso di studiosi e «curiosi» di cose naturali. Una delle "battaglie" fu combattuta in favore dell'insegnamento privato della chimica, proibita dal protomedico Carlo Pignataro, rappresentante per eccellenza dello schieramento degli "antichi". Leonardo di Capua, perché quasi sicuramente era lui a scrivere, vi prendeva parte con un "Discorso per difesa dell'arte chimica e de' professori di essa nel quale si dimostra, che il legger privatamente la chimica in tempo di vacanze, così per li statuti degli Studi pubblici come per legge comune, non possa esser cosa proibita, e che essendo essa utilissima alla repubblica per la cura de' mali, e non solo utile, ma etiandio necessaria, per la perfetta cognizione della Philosophia naturale, e della medicina rationale, utilissimo debbe anche stimarsi l'ufficio di quei Professori, che l'insegnano".

Il discorso è datato 28 settembre 1663.

Del resto egli, fondatore e membro attivo dell'Accademia degli Investiganti, non avrebbe mai rinunciato a partecipare, con forza, alle polemiche sulla chimica che attraversò la Napoli di quegli anni.

L'intento era di rispondere alle obiezioni solitamente mosse alla chimica, o quantomeno al suo privato insegnamento. Con *privato* si intendeva, ovviamente, al di fuori del controllo delle autorità mediche; del Protomedico, cioè.

Di fronte alla minaccia avanzata dal protomedico Carlo Pignataro, esponente di punta dello schieramento tradizionalista, di far proibire financo l'insegnamento, Leonardo Di Capua, verosimilmente di concerto con gli altri moderni, reagiva rivolgendo il "Discorso..." al Vicere e al Consiglio Collaterale. Il carattere professionale e corporativo dell'arte chimica veniva così indicato come l'ostacolo più rilevante al progresso della medicina e giustificava il ricorso all'autorità civile affinché "non si habbia a dare alcun luogo a questa ingiusta pretensione di vietar il legger la Chimica, e che la fallacia de' discorsi, e le calunnie, dalle quali ella viene ingiustamente accusata, habbiano a rimanere dalla verità e dalla sodezza delle ragioni contrarie, affatto sgombrate".

L'insegnamento della chimica non era tra quelli previsti dagli statuti dello Studio, i "moderni", anche per disciplinarne l'apprendimento, né avevano organizzato l'insegnamento privato. Si trattava probabilmente di sedute accademiche in cui, a turno, i futuri investiganti tenevano lezioni ed esperimenti scientifici.

Alla medicina, la chimica permetteva, finalmente, di cogliere il funzionamento delle parti vitali – era stata definita «Notomia vitale» -, rendendo così possibile all'anatomia di andare ben oltre la semplice dissezione. A cosa, infatti, «gioverebbe mai il medico il saper ad una ad una le parti annoverate, e scernere dal corpo umano, se poi della natura, e del mistero di quella digiuno si fosse?».

In realtà, entrambi gli schieramenti avvertivano la medesima necessità: non lasciare la chimica senza controllo. I *galenisti*, riducendone l'efficacia a soli pochi medicinali, già da loro utilizzati, cercavano, per l'appunto, di farla rientrare in quanto veniva, da tempo, insegnato nello Studio; i «moderni», invece, cogliendone la portata 'rivoluzionaria', provavano ad utilizzarla per eliminare dalle fondamenta un errato modo di fare medicina. Si trattava, in realtà, di un meccanismo, quello chimico, che, una volta avviato, avrebbe, svolgendo le sue capacità di analisi dei fenomeni, evidenziato gli errori e le superstizioni dei tradizionalisti.

Si trattava, insomma, del concreto tentativo, da parte dei *tradizionalisti*, di riprendere il controllo di una situazione che sembrava sfuggirgli di mano. Il moltiplicarsi degli autori studiati, la forte spinta alla sperimentazione, i continui richiami alla *libertas philosophandi*, erano, e non a torto, avvertiti come pericolosi per determinati equilibri di potere tra cultura dominante e professione medica.

Di qui, la necessità di ricondurre sotto il controllo dei medici tutto ciò che poteva riguardare la salute – e quindi per estensione anche la chimica se usata in medicina – presupponendo, però, che unici, veri medici fossero solo i *galenisti*.

La necessità per i “*moderni*” era, invece, di non ridurre la chimica ad una mera attività di laboratorio, di sperimentazione per lo più “*curiosa*”, ma di attento e vasto studio, al fine di accumulare conoscenze estese ai «*tre vastissimi reami della natura con rapidissimo ingegno*», così da avere «*tra le mani nuove cose: cercando per lande, e per valli, e per colli, e per fiumi, e per nuovi mari*».

Tornando all'autore del “*Discorso ...*”, Giacinto Gimma (1703) lo riteneva opera comune del D'Andrea, del Cornelio e di Leonardo Di Capua. Max H. Fisch (1953) lo attribuisce, seppur con cautela al D'Andrea.

Maurizio Torrini, attraverso l'analisi del “*Discorso per difesa dell'arte chimica ...*”, e di un intero Ragionamento del “*Parere ...*” di Leonardo Di Capua (Terza impressione, 1695, In Napoli, per Giacomo Raillard), costruito intorno all'esaltazione della chimica come seconda «*notomia*» (riportato a titolo esemplificativo); attribuisce il “*Discorso ...*” proprio a Di Capua, per quanto lo stesso autore non esclude del tutto l'apporto di altre mani, data la consuetudine ad opere in collaborazione inaugurata dagli investigatori.

In sintonia con il Torrini è Salvatore Serrapica, che nel saggio “*Per una teoria dell'incertezza tra filosofia e Medicina – Studio su Leonardo Di Capua (1617-1695)*” attribuisce anch'egli il “*Discorso...*” quasi con certezza a Leonardo Di Capua.

Il “*Discorso...*”, diviso in due parti, si proponeva di dimostrare, nella prima l'opportunità che l'insegnamento della chimica rimanesse sotto il controllo scientifico di docenti qualificati, nella seconda, che la chimica “*sia necessaria per la philosophia, e per la medicina*”. Nella prima parte si sottolineavano ancora una volta i motivi corporativi che ostacolavano l'insegnamento. Rilevando la libera circolazione dei libri e dei medicinali spargitrici, Leonardo si chiedeva “*donde sia nato, ch'essendo già tanto tempo, che in Napoli usansi i medicinali chimici, solo hoggi, che si comincia a leggere la chimica, si sia eccitato in alcuni Medici cotesto zelo della pubblica salute?... Al che sarebbe difficile il trovar altra risposta, se non questa una, che la ragion dell'interesse proprio, assai più che quella della nostra salute habbia svegliato in loro questo nuovo pensiero*”.

Leonardo Di Capua, dopo aver dimostrato l'inconsistenza giuridica di un decreto, che proibisse l'insegnamento della chimica, ne difendeva l'insegnamento privato perché “*non si da facoltà di apprenderla in altra parte*”. In risposta ad un lungo elenco di obiezioni contro la chimica, di cui la più rilevante sembrava essere la sua novità, Leonardo, dopo aver ricordato una serie di illustri precedenti da Avicenna a Rasi, da Arnaldo di Villanova a Raimondo Lullo, concludeva ironicamente che anche la medicina ippocratica “*si avesse a giudicar cattiva... a' suoi tempi, perché fu nuova, e che la chimica dopo qualche tempo avesse a divenir buona, perché sarebbe antica*”.

Quanto all'obiezione che la chimica disprezzando Aristotele e Galeno, ne mina i fondamenti filosofici, Leonardo osserva che l'arte chimica, come la logica e la geometria, è un'arte manuale “*che insegna di separar et unire le sostanze de' corpi naturali*” e come tale potrà servirsene “*qualsivoglia filosofo di qualunque setta egli sia, o Platonico, o Aristotelico, o Stoico, o Epicureo*”.

L'importanza della chimica nello studio della filosofia e della medicina è il tema della seconda parte del “*Discorso...*”. Qui Leonardo indicava il compito della chimica nella separazione e nella ricomposizione delle diverse sostanze che costituiscono le tre classi dei corpi naturali “*Et in così fatte operazioni, occupandosi in tutti gli altri corpi l'industria de' chimici, con sottilissimi artifici, et invenzioni, hora segregando, et hora unendo le parti de' corpi naturali, producono con sì mirabile arte nuove, e meravigliose sostanze, le quali arrecano non solo curiosità, e diletto a gli investigatori de' secreti della Natura, ma ancora utilità grande al commodo, et al beneficio de gli huomini*”.

Con sicurezza viene indicato il punto di separazione della Chimica dall'Alchimia: “*Hor mentre gli Alchimisti colla mente e colle mani al fuoco travagliando, sudavano... alcuni vaghi più tosto d'investigar gli arcani, e le ammirande opere della Natura, che struggersi fantasticando, e penando nella compositione del chimico lapis philosophale, tutte le macchine, e gli artifici per la trasmutation de' metalli dianzi trovati, rivolsero a più certo, et honorato fine, cioè di far notomia de' corpi naturali et esaminare minutamente la loro compositione, a fin che si sapesse la vera natura di essi, e l'utilità, che havrebbon potuto arrecare nell'uso della Medicina*”.

Il significato peculiare della chimica è individuato da Leonardo nella possibilità di poter “*le cose tutte... non solo comprendere, ma anche colle opere, e coll'essercizio pratico imitare*”. In tal modo la chimica non solo è utile, ma necessaria alla medicina, perché ci spiega “*l'ultima costituzione, e natura delle parti*”.

D'altra parte, il Di Capua nel “*Parere ...*”, dedicava buona parte del *Ragionamento ottavo* alla chimica e ne tracciava, immediatamente, un enfatico elogio: “*Ditelo intanto voi in mia vece, o arti illustri, o rare scienze o nobilissimi studi di quella figliuoli; voi dilette, giovevoli, e necessarie al genere umano arti dell'agricoltura, del fabbricare, del navigare, della milizia, della scultura, della pittura, della filosofia, della medicina; voi facendo testimonianza della*

Leonardo Di Capua in difesa dell'arte chimica...

grandezza, e dell'eccellenza della Chimica, narrate pure, come da essa i vostri natali, il vostro accrescimento, il vostro splendor traete; dite come a' vostri intendimenti porse la materia, agevolò l'opera".

Ma il pregio maggiore della chimica o meglio la sua definitiva consacrazione scientifica era associata alla filosofia moderna, che "volendo investigare la natura delle cose" ha cercato di conoscere "la composizione di quelle, per venir finalmente alla cognition de' principi, e de gli elementi da' quali esse si costituiscono".

Chiudo questa breve esposizione su Leonardo Di Capua e la Chimica con il ritratto che Francesco Redi diede dell'uomo: «Leonardo è valentuomo. Presume un poco di se stesso, poco stimatore di tutti, e tal poca sua stima non la rattiene prudentemente nel suo petto, ma la fa troppo palese, e con termini, direi io, un poco troppo liberi; ma in conclusione è valentuomo e il mondo avrebbe bisogno di una buona mano di simili valentuomini».

Riferimenti bibliografici:

- M. Torrini, Uno scritto di Leonardo Di Capua in difesa dell'arte chimica, «Bollettino del Centro di Studi Vichiani», 1974, IV, pp. 126-139; per la polemica chimica a Napoli v. più avanti, cap. IV.

Testo integrale su web:

http://www.ispf.cnr.it/index.php?modload=ispf_lab&wikipage=Strumenti_BCSV_II_V

- S. Serrapica, Per una teoria dell'incertezza tra filosofia e medicina. Studio su Leonardo Di Capua (1617-1695), 2003, Liguori Editore.

- L. Di Capua, Parere divisato in otto Ragionamenti, ne' quali partitamente narrandosi l'origine, e 'l progresso della medicina, chiaramente l'incertezza della medesima si fa manifesta, accresciuta di tre Ragionamenti intorno all'incertezza de' medicamenti, Colonia 1714 (1681), II.

Testo integrale su web:

<http://books.google.it/books?>

[id=NdUGAAAACAAJ&printsec=frontcover&dq=Lionardo+Di+Capua+Parere&source=gbs_similarbooks_s&cad=1#v=onepage&q&f=false](http://books.google.it/books?id=NdUGAAAACAAJ&printsec=frontcover&dq=Lionardo+Di+Capua+Parere&source=gbs_similarbooks_s&cad=1#v=onepage&q&f=false)

- T. Cornelio, Progymnasmata physica, Napoli, J. Raillard 1688 (1663), Leonardus a Capua lectori.

Testo integrale su web:

http://books.google.it/books?id=y9fFtic7MeYC&printsec=frontcover&dq=Thomae%20Cornelio%20Progymnasmata&source=gbs_slider_thumb#v=onepage&q&f=false

DISCORSO

È ben volendosi da Noi dimostrare la sua utilità, potrebbe dirsi, che l'uso della chimica, si distenda nella maggior parte delle arti più curiose, e più utili al Genere humano, poiché l'acque odorifere, gli olii, e l'essenze odorose, che dall'arte distillatoria si fanno, tanta varietà di lisci, e di belletti, che lavoransi per ornamento delle Donne, le gioie artificiali, che dalla Chimica, quasi emula della natura produconsi, la varietà de' colori, che formansi per l'uso della Pittura, le acque forti da indorare, e quelle da partire i metalli, che continuamente si adoprono da gli Orefici, tutte sono effetti, et operationi della Chimica. Delle quali la sola operatione dell'acqua di partire, diede occasione di tanta meraviglia a quel gran lume di tutte le buone lettere, e della nostra Iurisprudencia Guglielmo Budeo... (par. XLVIII).

Così hora dalle osservazioni chimiche istrutti, potremo chiaramente dimostrare, come si facciano le piogge, e i grandini: come si generino i tuoni, i fulmini, e le saette: come dalla forza de' folgori si dilegui, e si fonda il ferro della spada, rimanendo illesa la guaina: come piovano tal volta pietre, sangue e latte; e come finalmente si formino le Stelle cadenti, le quai cose tutte, potremo hoggi col beneficio della Chimica, non solo comprendere, ma anche colle opere, e coll'esercizio imitare... (par. LII).

PARERE (ediz. cit.)

...quanto l'uso della Chimica si distenda nella maggior parte dell'arti più curiose, e più utili al genere umano, imperocché l'acque odorifere, gli olii, tanta varietà di lisci, che lavoransi per ornamento delle donne, le gioie artificiali, che dalla Chimica, quasi emula della natura produconsi, la varietà de' colori, che formansi per uso della pittura, le paste da indorare, e l'acque da partire i metalli, che continuamente adoperansi dagli Orefici, tutti sono effetti, e operationi della Chimica; delle quali la sola operatione della menzionata acqua da partire i metalli, die cagione di tanta meraviglia a quel gran lume delle buone lettere Budeo... (p. 259)

Così parimente dalle Chimiche osservazioni avvisato, potrà chichesia investigare, come far si possano le piove, e i grandini, come s'ingenerino i tuoni, i lampi, e le saette; come dalla forza delle folgori si dilegui, e si fonda il ferro della spada, rimanendo illesa la guaina; come piovano soventi fiato pietre, sangue e latte, come alla fine si formino le stelle cadenti; le cagioni delle quali cose e d'altre molte oggi col giovamento della Chimica non solo assai verisimilmente conghietturare, ma coll'opere, e coll'esercizio pratico imitare... (pp. 230-1).

L'apprendimento della chimica: per un futuro migliore del presente

**Laura Ricco, Maria Maddalena Carnasciali, Aldo Borsese,
Marina Alloisio, Cristina Artini, Anna Maria Cardinale, Irene Parrachino**

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, via Dodecaneso, 31 – 16146 Genova
marilena@chimica.unige.it

Riassunto

Numerosi studi condotti in Italia e in Europa mostrano che l'apprendimento delle materie scientifiche e, in particolare, della chimica, è un problema ancora in attesa di soluzione. A questo proposito, la comunità scientifica ritiene indispensabile individuarne le motivazioni. Questo contributo presenta i risultati più significativi del progetto 'Chemistry Is All Around Us', finanziato dalla Commissione Europea, a cui hanno partecipato 6 Paesi con il comune obiettivo di trovare una soluzione concreta che consenta un apprendimento più efficace delle discipline scientifiche.

Summary

The life-long learning of scientific subjects, chemistry in particular, is deeply in crisis, not only in Italy, but in all over Europe. At the light of this evidence, the scientific community feels the need of finding out the motivations that caused the rejection and the demonization of chemistry not only by adult people but also by young people, that is more alarming. The paper is a discussion about the most significant results of the project 'Chemistry Is All Around Us', funded by the European Commission, with the partnership of six Countries that worked with the common objective of finding a concrete solution to crisis of scientific disciplines.

Il progetto

“Chemistry Is All Around Us” (CIAAU) è un progetto finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma “Support for European Cooperation in Education and Training Transversal Programme KA1: Policy Cooperation and Innovation”, recentemente concluso [1]. E' nato sulla base di una necessità sentita in molti Paesi Europei: migliorare la diffusione della cultura scientifica, oggi decisamente scarsa. Al progetto hanno partecipato sei paesi (Italia, Bulgaria, Germania, Grecia, Repubblica Ceca, Turchia) con il comune obiettivo di identificare e eliminare i fattori che compromettono l'apprendimento delle discipline scientifiche e, in particolare, della chimica, sia da parte degli studenti, sia, più in generale, da parte dei cittadini, in un'ottica di educazione permanente (*Lifelong Learning*). Ogni Paese partner ha realizzato un'ampia e documentata raccolta di informazioni allo scopo di:

- analizzare l'offerta formativa del proprio Paese per ogni età e livello;
- analizzare la risposta a tale offerta da parte di studenti e adulti;
- identificare i motivi che più allontanano dalle discipline scientifiche, specialmente quando si tratta di chimica;
- verificare se e che cosa viene fatto per promuovere l'immagine delle discipline scientifiche e l'interesse per un maggiore apprendimento da parte della popolazione;
- stabilire una strategia concreta che, tenendo strettamente conto delle informazioni raccolte e analizzate, sia in grado di intraprendere azioni efficaci e mirate a realizzare un apprendimento efficace e duraturo della chimica.

Nei paragrafi che seguono vengono dapprima riassunti i dati disponibili per l'Italia in relazione alle competenze scientifiche, all'offerta formativa per l'educazione degli adulti, alle iniziative intraprese per accrescere la qualità dell'insegnamento scientifico e a quelle per migliorare l'immagine delle scienze, per poi passare ad uno studio del caso effettuato per individuare gli ostacoli che si frappongono a un apprendimento significativo della chimica. Al termine si riassume la strategia proposta alla Commissione Europea, frutto di un'ampia discussione che ha coinvolto tutti i partecipanti al progetto.

Le competenze degli italiani

Negli ultimi quindici anni l'Italia ha partecipato a numerose indagini internazionali dedicate a valutare le competenze scientifiche e letterarie delle popolazioni.

Tra le più recenti, è importante citare l'indagine promossa dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE-PISA 2006) [2] per accertare le competenze dei quindicenni scolarizzati, nelle aree della comprensione della lettura, della matematica e delle scienze. Facendo riferimento, in particolare, alle scienze, il punteggio medio ottenuto dagli studenti italiani è decisamente basso (l'Italia si è qualificata al 36° posto tra tutti i Paesi partecipanti), e mostra una netta differenza tra gli studenti delle scuole professionali e quelli dei licei. Questi ultimi hanno infatti totalizzato un punteggio più alto.

L'apprendimento della chimica: per un futuro migliore del presente

Anche l'indagine ALL (Adult Literacy and Life Skills - Competenze alfabetiche funzionali e abilità per la vita) [3], rivolta ad una popolazione d'età compresa tra i 16 e i 65 anni e i cui risultati sono stati pubblicati nel 2005, colloca l'Italia in una posizione preoccupante. I dati raccolti mostrano che 30 milioni di persone non hanno un'educazione superiore e che oltre il 40% della popolazione è a rischio di analfabetismo; inoltre, viene rilevato che il 21,9% dei giovani tra i 18 e i 24 anni ha completato il minimo legale di studi richiesti e che solo il 6,2% di adulti partecipa a corsi di formazione (la media europea è 9,9%).

Questi risultati dimostrano che, per valutare la significatività degli interventi correttivi e migliorare l'offerta formativa (non solo quella scolastica), sarebbe necessario un monitoraggio costante e approfondito delle competenze degli italiani di ogni età. Sfortunatamente non esiste un'organizzazione che effettui tali indagini a livello nazionale e gli ultimi dati realmente significativi risalgono proprio all'indagine ALL.

Infatti, sebbene l'INVALSI (Istituto Nazionale per la Valutazione del Sistema Educativo di Istruzione e di Formazione) comprenda l'Osservatorio Nazionale per l'Educazione degli Adulti (ONEDA), nato nel 2000 con l'obiettivo di sperimentare modalità di monitoraggio e valutazione di attività nell'ambito dell'educazione degli adulti, i dati a cui è possibile accedere appaiono troppo frammentari per poter rappresentare un aggiornamento dell'indagine ALL.

Difficoltà obiettive si incontrano anche nel reperire fonti in grado di fornire informazioni aggiornate e comprensive su tutte le attività di valutazione che vengono effettuate, nonché sui risultati conseguiti.

Sulla base delle ricerche svolte tra siti e documenti, gli 'Annali della Pubblica Istruzione'[4] sembrano essere la raccolta più completa e organizzata di informazioni relative al sistema educativo del nostro Paese, seppure ignorino completamente l'istruzione in ambito privato.

Educazione degli adulti in Italia: l'offerta formativa [4,5]

L'educazione degli adulti, convenzionalmente indicata con l'acronimo EdA, è principalmente diretta a garantire un determinato livello culturale di base a quante più persone possibile.

Le prime strutture dedicate all'educazione degli adulti risalgono al 1947, quando, dopo la seconda guerra mondiale, lo spirito di ricostruzione portò a fondare scuole popolari con l'obiettivo di insegnare agli adulti a "leggere, scrivere e far di conto". Successivamente tali strutture si svilupparono cercando di offrire un'educazione di base anche a persone in difficoltà, quali carcerati, disabili, stranieri, ma anche casalinghe, anziani e disoccupati; tali strutture si organizzarono per migliorare la cultura di persone che, pur già in possesso di un diploma o di una laurea, desideravano accrescere le loro competenze per un più adeguato inserimento nel lavoro e nella società.

Alla luce della rapida crescita dei centri dedicati all'EdA, le istituzioni decisero che fosse necessario operare una regolamentazione dell'offerta formativa attraverso una riorganizzazione di queste strutture. Il primo importante provvedimento in questa direzione fu il Decreto Ministeriale n.455 del 1997, che stabilì l'istituzione dei Centri Territoriali Permanenti (CTP), istituzioni scolastiche con il compito specifico di provvedere ai servizi educativi nell'ambito dell'EdA.

Successivamente, l'accordo tra Stato e Regioni siglato il 2 marzo 2000 indicò le coordinate utili per la costituzione di un sistema di educazione degli adulti. Le iniziative introdotte, in accordo con la Comunità Europea, miravano a raggiungere gli obiettivi sanciti dalla Conferenza di Lisbona (marzo 2000) per lo sviluppo di una società basata sulla conoscenza. Conseguentemente, i diversi soggetti operanti nel campo dell'EdA, cominciarono a collaborare per offrire un'educazione adeguata a tutta la popolazione adulta, principalmente a persone con un livello culturale basso ma anche a cittadini con un'educazione superiore, desiderose di incrementare il proprio livello culturale.

Negli ultimi dieci anni l'offerta formativa è cresciuta esponenzialmente, ma anche in maniera poco ordinata.

Parlando di educazione degli adulti, oggi si distinguono tre tipologie:

- *educazione formale*. Essa avviene nelle sedi istituzionalmente dedicate all'istruzione e alla formazione e si conclude con l'acquisizione di un diploma o di una qualifica riconosciuta;

- *educazione non formale*. S'intende ogni attività educativa organizzata al di fuori del sistema formale e realizzata, ad esempio, nel luogo di lavoro o nell'ambito di organizzazioni o gruppi della società civile, nelle associazioni ecc. È rivolta a categorie di utenti ben individuabili e si pone determinati obiettivi nel campo dell'apprendimento, ma non prevede l'acquisizione di titoli di studio o qualifiche riconosciute;

- *educazione informale*. Comprende tutte quelle attività culturali che possono arricchire un individuo e stimolare i suoi interessi. È un processo, non legato a tempi o luoghi specifici, per il quale ogni individuo acquisisce, anche in modo inconsapevole o non intenzionale, attitudini, valori, abilità e conoscenze dall'esperienza quotidiana e dalle influenze e risorse educative del suo ambiente.

Ad oggi un numero elevatissimo di strutture, pubbliche e private, si occupa di educazione permanente:

- Enti supportati da finanziamenti provenienti dal fondo sociale europeo (Fse)
- CTP e scuole serali
- Università Popolari e Università della Terza Età
- Organizzazioni di volontariato, cooperative, centri ricreativi e culturali
- Organizzazioni femminili

- Biblioteche comunali
- Parchi nazionali e centri per l'educazione ambientale

L'elevata complessità e la mancanza di regolamentazione di tali strutture, molte delle quali autonome, non permette una descrizione più dettagliata e circostanziata del sistema di educazione permanente attualmente operante nel nostro Paese. Solamente i CTP e le scuole serali sono organizzati su rete nazionale secondo un regolamento comune e un monitoraggio costante. In tutti gli altri casi è purtroppo impossibile orientarsi o trovare una linea comune.

Facendo riferimento, in particolare, all'offerta formativa di tipo scientifico si trova molto poco. Corsi specifici sono organizzati prevalentemente nell'ambito di aziende pubbliche e private e rivolti ai dipendenti (ad esempio i corsi di aggiornamento), oppure nell'ambito di Università popolari o della Terza Età. Per la maggior parte dei casi si tratta comunque di corsi di informatica, quasi mai viene presa in considerazione una disciplina come la chimica.

Si può dire che l'educazione scientifica degli adulti, in particolare per quanto riguarda la chimica, avvenga prevalentemente attraverso processi informali: festival, spettacoli, musei, programmi televisivi, riviste, siti web, portali, ecc..

Iniziative atte ad accrescere la qualità dell'insegnamento scientifico e a promuovere l'immagine delle discipline scientifiche

I risultati scoraggianti ottenuti dall'indagine OCSE-PISA sulle competenze scientifiche degli studenti italiani hanno determinato l'avvio di iniziative finalizzate a promuovere e migliorare la cultura scientifica nelle scuole, a partire dalla scuola primaria [6]. Tra quelle di maggior rilievo vi sono alcuni progetti nazionali finanziati dal MIUR, che prevedono la collaborazione tra docenti Universitari e insegnanti delle scuole.

Il progetto ISS ("Insegnare Scienze Sperimentali") [7] è rivolto agli insegnanti della scuola primaria, della scuola media di primo grado e del biennio della scuola secondaria superiore. Si propone un cambio radicale dell'insegnamento delle discipline scientifiche, attraverso una metodologia che valorizza l'approccio sperimentale alla risoluzione di problemi e ne esalta le potenzialità formative, prevedendo una sequenza di operazioni in cui l'allievo non è un esecutore che mette in pratica operazioni suggerite da una "ricetta", ma un individuo che riflette sul modo di condurre l'esperimento, lo realizza, raccoglie i dati, analizza i risultati e li comunica.

Il Piano Lauree Scientifiche (PLS) [8] è nato per cercare di arginare il problema della drammatica riduzione di immatricolazioni in corsi di laurea quali Chimica, Matematica, Fisica e Scienza dei Materiali. E' un progetto nazionale orientato a stimolare l'interesse degli studenti degli ultimi due anni di istruzione secondaria di II grado verso le discipline scientifiche. Attraverso la collaborazione tra insegnanti della scuola e docenti universitari, il progetto realizza iniziative didattiche, molte delle quali anche di natura sperimentale, a beneficio sia degli studenti sia dei loro insegnanti, con l'obiettivo di realizzare un ponte tra le due tipologie di istruzione.

Negli ultimi anni sono nate numerose altre iniziative per favorire l'avvicinamento alle scienze sperimentali e ai loro fenomeni. Un esempio emblematico è rappresentato dai festival della scienza che riscuotono un successo di pubblico impressionante, sebbene non sempre si sia riscontrato un rigore scientifico; gli stessi musei scientifici hanno attivato sezioni didattiche. Si tratta di esempi di educazione informale che hanno grosse potenzialità. E' necessario, però, che i responsabili che curano queste iniziative abbiano una preparazione specifica. La comunicazione didattica è un processo complesso che si caratterizza per la messa a punto di messaggi adeguati ai requisiti posseduti dal pubblico che li riceve e dalla possibilità di controllare i risultati ottenuti. Pertanto la qualità dei contenuti che si trattano e il livello a cui trattarli dipende dagli interlocutori e non si può pensare di poter comunicare tutto a tutti. Le proposte educative che non tengono conto di questi principi ottengono, in generale, risultati effimeri.

Uno studio del caso per identificare gli ostacoli all'apprendimento significativo della chimica

Sono state realizzate dieci interviste ad adulti che al termine della scuola secondaria superiore hanno deciso di proseguire i loro studi in settori diversi da quello scientifico e dieci interviste a insegnanti di area scientifica della scuola secondaria. Tali interviste sono state effettuate sulla base di una lista di domande preparate e condivise tra i Partner del progetto. Le domande sono state messe a punto con l'obiettivo di identificare gli ostacoli incontrati dagli intervistati durante lo studio dei contenuti scientifici, in particolare di quelli chimici. L'intento, con un campione così piccolo, non era certo di ottenere dati con valore statistico, ma piuttosto di raccogliere spunti di riflessione, sapendo di non poter trarre conclusioni generali, ma indicazioni orientative.

Agli adulti sono state rivolte le seguenti domande:

1. Per quale ragione ha deciso di non proseguire gli studi scientifici dopo la scuola secondaria? (Argomenti la risposta).
2. Quali sono le principali difficoltà che ha trovato nello studio della chimica a scuola? (mancanza dei requisiti di base per comprenderla, ostacoli cognitivi in alcuni contenuti, altro). (Argomenti la risposta).
3. Come reputa le sue conoscenze chimiche? (povere, discrete, buone, molto buone)
4. Se ha una curiosità in ambito scientifico, cerca di soddisfarla? In caso affermativo, come procede?

L'apprendimento della chimica: per un futuro migliore del presente

5. Ritiene che i mass media consentano al pubblico di accedere ad adeguate informazioni scientifiche (in particolare sulla chimica) comprensibili? (Argomenti la risposta).
6. Che cosa associa all'aggettivo "chimico"? (Argomenti la risposta).
7. Sciogliendo 5 grammi di sale in 100 grammi d'acqua, la soluzione ottenuta peserà:
 - 105 grammi
 - tra 100 e 105 grammi
 - 100 grammi(Argomenti la risposta).
8. A volte ci accorgiamo della presenza di certe sostanze attraverso l'olfatto. Emettono, infatti, un odore caratteristico. Secondo lei, questo odore è costituito da particelle materiali oppure no? (Argomenti la risposta).
9. Quale potrebbe essere un esempio di sostanza pura allo stato solido?
10. Quale potrebbe essere un esempio di sostanza pura allo stato liquido?
11. Quale potrebbe essere un esempio di sostanza pura allo stato gassoso?

Queste invece le domande per gli insegnanti:

1. A che cosa si devono le maggiori difficoltà che gli studenti trovano nello studio della chimica a scuola? (mancanza dei requisiti di base, ostacoli cognitivi in alcuni contenuti, altro). (Argomenti la risposta).
2. Quali sono le principali difficoltà che si incontrano dovendo insegnare chimica (assenza di laboratori, tempo insufficiente, altro) (Argomenti la risposta).
3. Ha mai frequentato corsi che trattavano tematiche inerenti alla didattica della chimica? Se sì, quali? (Specifici se i corsi avevano un'impostazione più prettamente teorica oppure pratica/laboratoriale)
4. Per quale motivo molti giovani abbandonano gli studi chimici (e, in generale, gli studi scientifici) dopo la scuola secondaria? (convincione che la chimica sia "difficile", che sia necessaria una particolare attitudine, altro). (Argomenti la risposta).
5. In che modo si potrebbero orientare i giovani a intraprendere studi scientifici dopo la scuola secondaria? (Argomenti la risposta).
6. Nel suo paese quali iniziative sono state messe in atto in questa direzione?
7. Ha mai partecipato a progetti di ricerca sull'apprendimento scientifico?
8. Può citare qualche ricerca recente della quale è venuto/a a conoscenza e che potrebbe essere utile per il nostro progetto?
9. Può suggerire altre aree di ricerca che potrebbero essere utili per il nostro progetto?

Per quanto riguarda gli adulti interpellati, quando è stato chiesto loro di raccontare la propria esperienza scolastica con la chimica e con le scienze, le risposte sono state tutte del tipo "mi interessava altro" e/o "non ero portato per...".

Molti richiamano il ruolo della memoria nell'apprendimento della chimica, un adulto afferma addirittura che la "adorava" perché la assimilava ad un "giochetto". Tutti ritengono povere le proprie conoscenze di chimica.

In generale, gli intervistati affermano di affidarsi a internet per soddisfare eventuali curiosità in ambito scientifico, non sembra che assumano uno spirito critico, al massimo si confrontano le informazioni reperite su più siti per valutarne l'attendibilità. D'altronde, come qualcuno dichiara, per rendersi conto della scarsa qualità delle informazioni, è necessario possederne già molte. Pur sottolineando qualche perplessità nei confronti dell'informazione scientifica offerta dai mass media (i media sono strumentalizzati, i concetti se troppo semplificati possono essere banalizzati), l'atteggiamento nei confronti della divulgazione scientifica è complessivamente positivo.

Le risposte agli ultimi quesiti, che miravano a sondare se alcuni contenuti chimici di base fossero posseduti o meno e l'atteggiamento in senso lato nei confronti della materia, fanno emergere la presenza di carenze e concetti di senso comune e confermano che la chimica è ancora associata a cose negative, specialmente con l'inquinamento, in opposizione a ciò che è "naturale".

Dalle risposte date dagli insegnanti si evince che gli ostacoli incontrati dagli studenti nell'apprendimento della chimica sono legati a:

- difficoltà intrinseche della disciplina (la sua dimensione microscopica, la necessità di ricorrere a modelli "astratti" ...);
- mancanza di laboratori attrezzati;
- carenze degli allievi (mancanza di requisiti, incapacità di astrazione, poca voglia di studiare);
- conoscenza non adeguatamente approfondita della disciplina da parte degli stessi insegnanti.

Nessuno degli insegnanti intervistati è a conoscenza di lavori di ricerca, o di iniziative che possano essere ricondotte al *Lifelong Learning*. Qualcuno fa riferimento a attività per l'orientamento dei ragazzi tra la secondaria di secondo grado e l'università, ma non ne evidenzia ricadute significative.

Una riflessione che si potrebbe fare è che gli insegnanti intervistati non si siano mai posti con sufficiente serietà le do-

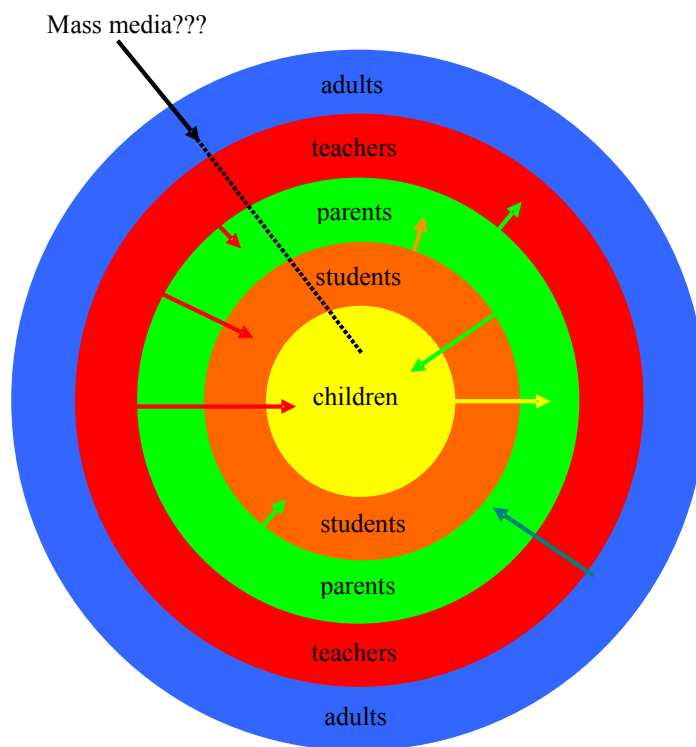
mande formulate nel questionario, perché una riflessione seria li avrebbe dovuti condurre a ripercorrere i loro modi di proporre i concetti e le informazioni e a constatare come in parecchi casi loro stessi non comprendano realmente ciò che cercano di trasferire. Forse il problema risiede anche nella loro formazione professionale: tra di essi, solo quelli più “giovani” (non anagraficamente, ma da minor tempo inseriti nel mondo della scuola) hanno frequentato corsi di didattica della chimica.

Un documento condiviso: La Strategia

I risultati ottenuti dallo studio del caso effettuato negli altri Paesi coinvolti nella ricerca sono assimilabili a quelli ottenuti in Italia. E’ pertanto evidente che, nonostante tutte le Nazioni coinvolte abbiano ampiamente dimostrato di dedicare molta attenzione alle attività che dovrebbero suscitare interesse sia nei giovani, sia negli adulti, l’obiettivo non è stato raggiunto: ciò fa pensare che il problema debba essere analizzato approfonditamente prima di individuare soluzioni..

A questo proposito, al termine di un’ampia discussione che ha visto coinvolti tutti gli attori di questo progetto, è stato messo a punto un documento, intitolato “Strategy”, che riporta ciò che la ricerca condotta propone come suggerimento alla Comunità Europea per incrementare la sensibilità nei confronti delle scienze.

Per riassumere, schematizzando le possibili interazioni che esistono tra i diversi ruoli e livelli generazionali della nostra società (bambini, studenti, genitori, insegnanti e adulti in senso generale), si ottiene il diagramma qui di seguito riportato, in cui le frecce mostrano la direzione e il verso degli scambi culturali.



Siamo convinti che i bambini debbano essere introdotti alla scienza usando un approccio fenomenologico che permetta, non solo di stimolare la loro curiosità, ma di lavorare a un livello adeguato alla loro struttura cognitiva. Aiutare i bambini ad osservare i fenomeni, a descrivere in modo sequenziale le loro osservazioni, a lavorare per comprendere il significato della terminologia e costruire definizioni condivise sono attività che, svolte singolarmente o a gruppi, aiutano l’avvio all’acquisizione di competenze trasferibili, che potranno essere consolidate nei livelli scolastici successivi. Questo modo di lavorare, che vede l’alunno protagonista del suo processo formativo, favorisce lo sviluppo delle capacità logiche, l’indipendenza cognitiva e lo spirito critico.

I bambini, riportati nel centro del diagramma, sono la categoria più importante. Se vengono orientati a vedere la scienza e, la chimica in particolare, come un aspetto della loro quotidianità, saranno stimolati ad apprenderla. E potranno anche attivare una visione problematica del loro sapere riconoscendo i limiti dei modelli che via via utilizzano.

L’interesse dei bambini coinvolgerà i loro genitori che saranno stimolati a condividerlo e la loro cultura scientifica potrà così gradualmente accrescersi.

Le attività che coinvolgono sia i genitori sia i figli possono essere molto efficaci se sono condotte da insegnanti capaci di creare un coinvolgimento reale in un percorso di apprendimento guidato. Purtroppo, spesso, il personale che gestisce gli eventi divulgativi non è adeguatamente formato in campo educativo così da rendere significativo per i suoi interlocu-

L'apprendimento della chimica: per un futuro migliore del presente

tori ciò che propone.

Se i genitori modificheranno le loro idee sulla scienza, allora potranno contrastare i pregiudizi e potranno favorire un graduale cambiamento della percezione delle scienze nella loro comunità sociale.

Il diagramma presentato intende far rilevare che:

- il modo di pensare dei bambini è influenzato da quello dei loro genitori e dei loro insegnanti, ma molto meno da quello della società;
- i genitori influenzano i bambini e gli insegnanti, e ne sono, a loro volta, influenzati;
- gli insegnanti influenzano i genitori e i bambini, ma sono condizionati dalle aspettative dei genitori;
- il modo di pensare della società influenza quello dei genitori, e viene influenzato dai mass media e dalle credenze popolari;
- gli studenti sono influenzati dagli adulti ma cambiano le loro convinzioni e i loro punti di vista con grande difficoltà. Gli insegnanti, infatti, trovano più ostacoli a far loro modificare un concetto scorretto, piuttosto che a farne loro acquisire uno nuovo.

In ogni caso, a prescindere dalle difficoltà del compito, l'unica possibilità di modificare l'atteggiamento verso la scienza e di accrescere le competenze scientifiche dei cittadini è quella di far seguire ad una formazione iniziale adeguata degli insegnanti una sistematica formazione in servizio che li sostenga e li aiuti. A questo proposito, è fondamentale una forte rivalutazione della ricerca didattica nell'Università. Opportuni finanziamenti ministeriali specificamente dedicati favorirebbero l'avvicinamento a questi studi dei docenti sensibili alle problematiche educative. Altrettanto importante sarebbe poter contare su una divulgazione scientifica che non banalizzi e non distorca concetti ed informazioni.

E' necessario, inoltre, aumentare l'interazione tra le università e le scuole, specialmente durante il processo di formazione degli insegnanti. Queste interazioni favorirebbero la costituzione di gruppi di ricerca misti, la messa a punto di percorsi didattici, la loro sperimentazione, l'individuazione delle criticità. Solo un'attenta analisi delle eventuali criticità riscontrate nello svolgimento dell'intervento può consentire, se necessaria, un'efficace riprogettazione in itinere. L'abitudine alla riflessione ed alla rivisitazione di ciò che avviene in aula è fondamentale nella prospettiva di sviluppare negli insegnanti un atteggiamento di ricerca. Un progetto didattico deve rimettere in discussione la propria fondatezza ogni volta che viene usato: l'unicità e la complessità di ciascun contesto producono il bisogno di un suo affinamento continuo.

Conclusioni

Stiamo vivendo una contraddizione molto forte: da una parte l'importanza della scienza cresce ogni giorno e dall'altra, la cultura scientifica è del tutto insufficiente nei giovani e nella popolazione in generale.

Per realizzare un cambiamento, non è sufficiente (anche se importante) limitarci a moltiplicare le iniziative e gli interventi per sottolineare il valore della scienza, per mostrare fenomeni che suscitano stupore e curiosità.

Se non vogliamo contraddire la nostra formazione dobbiamo affrontare il problema in maniera scientifica: identificare le cause (scarso spazio temporale per l'insegnamento scientifico, divulgazione scientifica e comunicazione sociale della scienza spesso inadeguati) e trovare il modo di eliminarle. E' un lavoro lungo e difficile.

Sebbene sia importante continuare a battersi per incrementare lo spazio temporale per l'insegnamento scientifico nella scuola, nel frattempo è indispensabile lavorare a un cambiamento radicale del modo di insegnare le scienze.

Occorre formare insegnanti che abbiano una visione della didattica come di un processo essenzialmente fondato sugli studenti, docenti che abbiano competenze epistemologiche adeguate, ovvero la capacità di identificare i quadri concettuali e le teorie di riferimento della disciplina che insegnano.

Con l'attivazione, in Italia, delle lauree per l'insegnamento, si potrebbe avere in mano lo strumento per andare in questa direzione. Per sfruttarlo opportunamente occorrerà, però, che i docenti universitari si rendano effettivamente conto dell'importanza strategica di questi nuovi strumenti formativi.

Riferimenti

[1] <http://www.chemistry-is.eu/>

[2] http://www.invalsi.it/invalsi/ri/pisa2006.php?page=pisa2006_it_00

[3] <http://www2.invalsi.it/ri/all/>

[4] S. Angori, *Prospettiva EP*, 2003, 4, 1

[5] *Annali Della Pubblica Istruzione, L'istruzione e la formazione degli adulti tra domanda e offerta*, 2005, 5-6/2005

[6] *Annali Della Pubblica Istruzione, Policy, ricerca e strumenti per il potenziamento della cultura scientifica e tecnologica nella scuola italiana*, 2007, 1/2007

[7] *Annali Della Pubblica Istruzione, Il progetto "Insegnare Scienze Sperimentali"*, 2009, 5-6/2009 – 1/2010

[8] *Annali Della Pubblica Istruzione, Il progetto "Lauree Scientifiche"*, 2007, 2-3/2007

La chimica come economia della natura

Giorgio Nebbia
nebbia@quipo.it

Parlare di chimica è spesso come presentare nella buona società una sorella dai trascorsi burrascosi. "Chimica" è parola sgradevole per molti orecchi, soprattutto poco informati, per vari motivi apparentemente contrastanti.

Il primo è rappresentato dal modo in cui i grandi mezzi di informazione parlano di cose nelle quali la chimica è coinvolta; non ci mancavano altro che gli attentati con "armi chimiche", in aggiunta agli incidenti "chimici", all'uso sconsiderato della "chimica" in agricoltura, eccetera, per enfatizzare qualsiasi cosa sgradevole associandola all'aggettivo "chimico". Non c'è dubbio che incidenti industriali, intossicazione di lavoratori nelle fabbriche, inquinamenti dell'ambiente hanno luogo spesso in fabbriche chimiche o che trattano prodotti chimici e ad opera di sostanze chimiche. Non c'è dubbio che molte fabbriche producono sostanze chimiche pericolose, talvolta inutili, talvolta oscene come gli agenti di guerra, dai gas asfissianti a quelli lacrimogeni e paralizzanti.

Non c'è dubbio che la scoperta di frodi, di sostanze tossiche anche nelle acque e nei cibi, di erbicidi nei pozzi sono la conseguenza di un uso improprio e violento di sostanze chimiche e che giustamente un vasto movimento popolare chiede più severe regolamentazioni nella produzione, nella circolazione e nell'uso di prodotti chimici industriali e commerciali.

Il secondo motivo della dubbia fama della chimica sta nella maniera in cui la corporazione dei produttori chimici reagisce alle critiche di quelli che sono sbrigativamente liquidati come "ecologisti" o "verdi". La risposta messa in circolazione attraverso male orchestrate campagne di stampa è melensa e poco convincente e suscita una reazione di rigetto nell'opinione pubblica. Non basta mobilitare grandi compagnie di pubblicità e pubbliche relazioni per essere credibili e convincenti quando si presenta l'immagine che la chimica è per definizione buona e benefica per l'umanità e che pertanto i fabbricanti di prodotti chimici devono essere apprezzati e lodati come coloro che diffondono il bene insito "nella chimica".

Anche qui l'eccesso di zelo degli apologeti cade spesso nel ridicolo. Non c'è dubbio che le sostanze presenti nel sangue sono costituite da molecole chimiche --- e che altro dovrebbero essere ? --- e che il cibo necessario per la sopravvivenza, i farmaci che salvano la vita dei malati, i coloranti che abbelliscono i tessuti, i cosmetici che rendono gradevole e pulito l'aspetto, sono fatti di sostanze chimiche. Non c'è dubbio che sono chimiche --- anche se in genere maneggiate da non-chimici --- le analisi che consentono di riconoscere le malattie.

Ma è altrettanto vero che la storia degli anni recenti è piena di episodi di danni alla salute e all'ambiente provocati da industrie e sostanze chimiche non perché tali sostanze sono "chimiche" ma perché sono stati imprudenti e incapaci i produttori, i trasportatori, gli utilizzatori. E non giovano né alla "chimica", né agli imprenditori le difese di ufficio fatte da volenterosi "scienziati" e accademici i quali ridicolizzano i critici e la loro ignoranza. Tali difese hanno il sapore di cose già ascoltate: anche gli industriali inglesi del 1800 rispondevano alla contestazione di coloro che volevano che fossero migliorate le condizioni di lavoro nelle fabbriche, mobilitando "gli scienziati". E' rimasto celebre il dottor Andrew Ure (1778-1857), chimico e merceologo, che, pieno di zelo, ha scritto un intero libro, "La filosofia delle manifatture" (Londra, prima edizione 1835, terza edizione 1861; una traduzione parziale in italiano è stata pubblicata nella "Biblioteca dell'economista", seconda serie, volume 3, dall'Unione Tipografico-editrice di Torino nel 1863), per dimostrare come il lavoro nelle filande e nelle miniere fosse giovevole alla salute dei fanciulli, tolti dalla strada e dai suoi vizi.

Il terzo motivo, legato ai due precedenti, del poco buon nome della chimica nell'immaginario popolare, sta nella diffusa ignoranza della chimica. Persone colte e intelligenti, che sanno parlare con competenza di letteratura e musica e arte, "intellettuali", come si suol dire, si azzardano, forti della loro ignoranza chimica, ad esprimere giudizi spesso insensati sui guasti e sui vizi della "chimica".

Non c'è dubbio che la chimica si insegna poco e spesso male nelle scuole secondarie superiori --- dove pure circa 400 mila studenti ogni anno sono "costretti" a seguire un qualche corso di chimica --- sulla base di testi che talvolta (spesso) sono modesti e noiosi. Quel poco di nozioni appiccate alla mente, talvolta senza andare al di là di poche frasi fatte, ripetute come litanie, sono il terreno ideale per fare nascere idee distorte e luoghi comuni e vere sciocchezze. Non c'è perciò da meravigliarsi se molti giornalisti, parlamentari, amministratori, spesso persone colte e attente, straparano quando si tratta di esprimere dei giudizi sulla chimica, sull'effetto serra, sulle marmitte catalitiche, sulle virtù di cosmetici o sui danni dell'ozono (poco conta se troposferico o stratosferico).

Si aggiunga che la situazione è scoraggiante benché in Italia esistono decine di migliaia di laureati in chimica, centinaia di professori universitari di discipline chimiche: la loro voce si sente troppo poco e quasi niente, come se ci fosse un pudore nell'intervenire e nel parlare della loro scienza. Una volta Linus Pauling (1901-1994, premio Nobel per la chimica e poi premio Nobel per la pace) scrisse che bisogna invece imparare a parlare a qualcuno che non siano le

La chimica come economia della natura

proprie provette. La stessa massima società italiana dei chimici, la Società Chimica Italiana, con poche migliaia di soci, per lo più membri del mondo accademico, con prestigiose riviste, peraltro a limitatissima circolazione, per l'opinione pubblica è sconosciuta, come se non esistesse.

A differenza di altre società chimiche nazionali e in particolare di quella americana, la American Chemical Society, che pubblica un settimanale, il notissimo *Chemical and Engineering News*, che "tira" circa mezzo milione di copie (oggi in gran parte in forma telematica), che mobilita i suoi soci, anche quelli in pensione, perché parlino del loro lavoro nelle televisioni e radio locali, che organizza giornate nazionali della chimica, Olimpiadi della chimica, che induce il governo a stampare francobolli commemorativi della chimica e dei chimici, eccetera.

Questo stato di cose fa sì che in Italia esistano pochissime riviste di chimica, con limitata circolazione, nessuna a carattere veramente divulgativo e popolare, che siano soltanto pochi o pochissimi i libri divulgativi di chimica, le cui conoscenze per il grande pubblico sono affidate al breve incontro, al liceo, con i testi di scuola.

Mi vengono in mente le "Lettere sulla chimica" che Justus von Liebig (1803-1873) pubblicava a puntate sull'*Augsburger Allgemeine Zeitung* e che raggiunsero, nel corso degli anni, il numero di cinquanta, raccolte in vari volumi, tradotte in tutte le lingue e anche in italiano, a mano a mano che apparivano in tedesco, e che ebbero un grandissimo successo popolare. Il 200° anniversario della nascita di Liebig, nel 2003, è stato dichiarato in Germania "Jahr der Chemie". A proposito della divulgazione della chimica raccomando la lettura del libro, "Communicating chemistry. History of textbooks in Europe between 1789 and 1930", di Bernadette Bensaude-Vincent, e Anders Lundgren, Cambridge, 1999.

Non c'è in Italia un buon dizionario o una buona enciclopedia popolare di chimica. E' abbastanza naturale che perfino i traduttori degli articoli di giornali stranieri storpino i nomi chimici, con silicio che diventa silicone e viceversa, iodio che diventa iodino, carboidrati che diventano idrocarburi, anidride carbonica che diventa ossido di carbonio, e così via.

Eppure mai come in questo inizio del XXI secolo, una cultura chimica è essenziale per difendere la salute dei cittadini e anche per ridare fiato ad un asfittico settore industriale. Mai come in questo momento i problemi chimici sono centrali per l'economia e per il progresso. Basta leggere la Gazzetta ufficiale delle Comunità europee o quella della Repubblica italiana per vedere che sempre più spesso ci sono interi fascicoli, dei veri volumetti, pieni di informazioni chimiche, di formule, di sinonimi, di proposte di unificazione, pieni di metodi di analisi standardizzati per riconoscere la purezza delle sostanze, per sconfiggere le frodi, per svelare gli inquinamenti. La sigla CAS del Chemical Abstracts Service (l'enorme raccolta, annuale, delle citazioni e riassunti, abstracts appunto, delle pubblicazioni scientifiche di chimica) è usata anche nei testi di legge dove accompagna ormai il numero, la sigla e il nome delle sostanze che entrano nei medicinali, nei cosmetici, nei pesticidi, eccetera.

Mai come in questo momento la sopravvivenza civile dei paesi industriali dipende dal potenziamento dei servizi pubblici di controllo dei prodotti e dell'ambiente, servizi che richiedono metodi chimici di indagine praticati da chimici. Con tutto il parlare che si fa di unità europea, bisogna renderci conto che potremo essere veramente europei soltanto se dimostreremo di avere strutture pubbliche e imprese private avanzate e moderne e in tale progresso un ruolo determinante ha la chimica e hanno i chimici. Mai come in questo momento ci sarebbe bisogno di laureati in chimica preparati, orgogliosi della loro cultura e della loro competenza e capacità, consci del ruolo che possono avere nella collettività civile.

Con tutto il rispetto per le altre scienze della natura e sperimentali, la chimica è forse l'unica che offre la saldatura fra le leggi fondamentali della materia e l'applicazione di tali leggi alla vita quotidiana, dal metabolismo del cibo alla bellezza dei colori delle ali delle farfalle o dei petali dei fiori, ai grandi flussi di materia che stanno alla base dell'economia.

La chimica è infatti la scienza della contabilità della natura. Il bilancio delle reazioni chimiche è un bilancio "economico": esso, per definizione, deve essere in pareggio, tutto quello che c'è a sinistra di una formula si deve ritrovare a destra: la materia si deve sempre ritrovare tutta. E qui troviamo subito la diversità fra la contabilità della natura e quella della "economia monetaria". Anche gli economisti dei soldi fanno della contabilità: i soldi spesi devono essere uguali a quelli guadagnati. Ma le "cose" materiali che sono descritte con gli scambi monetari sono soltanto una piccola parte di quelle che interessano la vita reale.

Nel bilancio di una fabbrica, per esempio, la contabilità monetaria tiene conto soltanto delle materie che si comprano e si vendono. Se pensiamo ad una fabbrica di acciaio contano il minerale di ferro e il carbone, che si ottengono in cambio di soldi, ma nella contabilità monetaria non figura l'ossigeno che si ottiene gratis nell'aria che serve per bruciare parzialmente il carbone trasformandolo in ossido di carbonio che riduce gli ossidi di ferro in ferro e ghisa. La ghisa e l'acciaio e l'energia entrano nella contabilità economica perché si comprano e si vendono, ma nella reazione si formano --- una cosa ovvia e banale per un chimico --- polveri e anidride carbonica e ossido di carbonio e scorie che non figurano nella contabilità economica perché vengono gettati nell'atmosfera o in una discarica. Salvo accorgersi un giorno che le popolazioni protestano per i fumi che sono "cose" materiali e di cui bisogna misurare quantità e composizione chimica, e che bisogna filtrare e abbattere o raccogliere per non inquinare l'aria o il suolo.

La contestazione ecologica è nata proprio dall'attenzione prestata agli effetti negativi di tutte le cose che la chimica conosce da sempre --- quelle che si trovano a sinistra e a destra di ciascuna formula --- ma che l'economia tradizionale e la pratica dell'operare hanno a lungo ignorato. Da qui l'importanza e la grande attualità del valore educativo della contabilità chimica.

Un minimo di attenzione chimica può suggerire a coloro --- tutta l'intera popolazione --- che utilizza la cucina, il lavandino, il secchiaio o il gabinetto --- veri laboratori chimici --- che tutta la massa dei materiali trattati, compresi i gas dell'aria che "si compra" gratis dall'atmosfera, si ritrova poco dopo nell'aria come gas, ma di diversa composizione, che i residui di cibo, le soluzioni saponose, gli escrementi che escono dalla nostra vita quotidiana non scompaiono ma vanno a finire nelle fogne e poi nei depuratori e nei fiumi e nel mare. La contabilità e l'ecologia dell'ecosistema domestico, sono altrettanto importanti come l'ecologia della fabbrica o della città.

Della buona chimica è indispensabile per fare delle buone leggi contro l'inquinamento e delle buone e sensate azioni per il riciclo dei materiali presenti nei rifiuti, per avviare indagini di bonifica dei territori contaminati da attività produttive precedenti. E' anzi questo un campo in cui si saldano interessi di natura geografica e storica; quali processi si sono svolti nelle fabbriche che occupavano un territorio ? quali materie --- tutte chimiche --- venivano trattate e trasformate ? quali scorie venivano prodotte ? dove sono finite e come è possibile toglierle dai loro depositi o diminuirne le nocività ?

Buona chimica è necessaria per progettare prodotti e materiali e manufatti in vista del loro intero ciclo vitale che comprende, ripeto, materie dotate di valore monetario e materie che finiscono nei corpi riceventi della natura, rigettate senza alcuna spesa monetaria, ma con elevati costi sociali e sanitari e ambientali .

Buona chimica --- e adeguati e buoni controlli chimici --- sono necessari per le procedure per l'assegnazione di eco-etichette con analisi che vengono indicate "dalla-culla-alla-tomba"; altrimenti delle procedure che dovrebbero difendere i consumatori e l'ambiente si trasformano in pure operazioni pubblicitarie. E quanta chimica sarebbe necessaria per verificare le, e informare i cittadini sulle, tanto dichiarate affermazioni di virtù ecologiche di tante merci che entrano nel mercato con grandi richiami pubblicitari.

A questo proposito una società moderna avrebbe tutto l'interesse a potenziare, anzi a resuscitare, quelle strutture che erano i laboratori chimici "di igiene e profilassi", che nelle intenzioni dei legislatori di cento anni fa furono creati riconoscendo che la prevenzione delle malattie --- la profilassi, appunto --- sarebbe stata possibile soltanto attraverso le analisi chimiche degli alimenti, del cibo, delle acque, dei prodotti usati in agricoltura, e poi, dagli anni cinquanta in avanti, attraverso un controllo chimico delle condizioni di lavoro, dell'inquinamento atmosferico, dello smaltimento dei rifiuti. Non a caso la direzione del primo laboratorio di igiene e profilassi francese fu affidata al chimico Louis Pasteur (1822-1895).

La polverizzazione delle competenze nel settore sanitario e della lotta alle frodi alimentari, nel settore dei controlli ambientali, e di quelli in campo agricolo e delle stesse dogane, da cui tanti chimici sono poi passati sulle cattedre universitarie di merceologia, ha impoverito la capacità di indagine, di controllo e di analisi delle uniche strutture che possono davvero prevenire le malattie. Proprio quando l'unificazione, il coordinamento e il potenziamento della parte chimica avrebbero potuto rappresentare la vera soluzione.

Sorprende (o non dovrebbe sorprendere ?) che il mondo politico, economico e lo stesso mondo imprenditoriale prestino così poca attenzione agli strumenti conoscitivi chimici che sono essenziali per un genuino sviluppo economico.

La conoscenza chimica consente la spiegazione di come sono fatti e come possono essere prodotti le cose, gli oggetti, i materiali presenti in natura e nella vita quotidiana. La chimica è nata con l'obiettivo di spiegare e descrivere fenomeni naturali e, nello stesso tempo, di risolvere problemi pratici: la sbianca e la tintura dei tessuti, la conservazione dei cibi, la concia delle pelli, la fermentazione del pane. La ricerca scientifica chimica è stata originata e ha avuto i suoi massimi successi in relazione a problemi "pratici": dal premio Nobel a Fritz Haber (1868-1934) per la scoperta delle condizioni che consentono la sintesi dell'ammoniaca, al premio Nobel a Giulio Natta (1903-1979) per le scoperte che hanno permesso di sintetizzare il polipropilene.

Mi viene ancora in mente il chimico Liebig che, nel suo laboratorio di Giessen, insieme agli esperimenti di analisi chimica, prestava attenzione ai problemi sociali della prima rivoluzione industriale, a come alleviare la scarsità di alimenti che colpiva le masse di proletari affamati d'Europa, che si occupò di aumentare le rese agricole, che stimolò l'utilizzazione del nitro del Cile come fonte di azoto e dell'acido solforico per rendere solubili i fosfati naturali, che spiegò al pubblico l'importanza della carne e che, per superare le difficoltà del trasporto della carne dai pascoli del sud America all'Europa con le lente navi a vela senza frigoriferi, "inventò" l'estratto di carne e stimolò la costruzione della fabbrica di Fray Bentos in Uruguay, contribuendo ad avviare l'industrializzazione del paese sudamericano. Quel Liebig che, a riprova dello stretto rapporto fra chimica e economia, nella celebre "undicesima lettera" scrisse, sia pure con un po' di ingenuità, che il consumo di acido solforico è un indice dello sviluppo economico di un paese e il consumo di sapone è un indice della sua civiltà.

Benché la chimica aiuti a capire e spiegare tanti aspetti fondamentali della vita --- perché certe merci inquinano, quale è la composizione dei rifiuti --- si ha l'impressione che la chimica della cucina e del gabinetto abbiano poco spazio

La chimica come economia della natura

e dignità nell'insegnamento chimico. I merceologi, per esempio, che sono i chimici che si occupano di questi aspetti volgari della chimica, sono in genere considerati chimici di seconda classe.

Una migliore cultura chimica aiuterebbe anche molte altre attività e discipline. Si pensi, per esempio, al vuoto culturale esistente in Italia nel campo della storia della chimica, della storia della farmacia, della storia della merceologia, e lo si confronti col fatto che lo storico di professione, o l'archeologo sempre più hanno a che fare con problemi chimici che affrontano talvolta male, superficialmente, talvolta balbettando cose inesatte, con una crescente difficoltà di incontro con i professionisti che sanno di chimica.

Probabilmente una intelligente spiegazione dell'importanza degli aspetti "pratici" della chimica aiuterebbe il pubblico a riconoscere in essa non solo una scienza vicina alla vita quotidiana, ma anzi la scienza prima della vita e delle cose che ci circondano.

C'è un altro aspetto meno noto della chimica. All'opinione pubblica, ma anche agli studenti medi, la chimica appare una scienza consolidata, piena di certezze; se qualcosa di nuovo appare all'orizzonte lo si deve cercare nei favolosi orizzonti delle biotecnologie o dei materiali avanzati, come si suol dire. Una impressione sbagliata: il mondo che ci circonda è ancora pieno di misteri chimici, anche nei campi più banali. Si parla, per esempio, di amido, di lignina e di cellulosa, le pietre fondamentali del mondo vegetale. La cellulosa attrae l'attenzione come ingrediente della carta, l'amido come ingrediente del pane e della pasta e, più recentemente, della finta "plastica" biodegradabile. E invece siamo di fronte ad un campo pieno di misteri. Ogni vegetale contiene amido, lignina, cellulosa, con caratteri differenti da altri; la composizione di queste macromolecole ha carattere statistico per cui si deve parlare al plurale di amidi, cellulose, eccetera.

Con un poco di attenzione e di curiosità si scopre, per esempio, che i diversi cereali hanno amidi di diverse qualità, tanto è vero che con alcuni (il grano) si riesce a fare il pane e con altri (come il mais) no. La stessa caratterizzazione dei cereali e dei relativi sfarinati sulla base dell'amido, delle proteine, dei grassi e delle ceneri è una grossolana approssimazione. Si intuisce, ma se ne sa ben poco, che amido, proteine e grassi sono uniti fra loro in "complessi" grassi-proteine, amido-grassi, amido-proteine; la loro esistenza potrebbe spiegare il fatto che il grano duro ha caratteri diversi dal grano tenero, benché all'analisi chimica grossolana i principali componenti siano in quantità quasi uguali. Fra i misteri chimici del pane c'è il fenomeno del rinvenimento, per cui nel pane rafferma, "vecchio" di due o tre giorni, riscaldato, la mollica ritorna elastica come nel pane appena sfornato, anche se questo carattere scompare dopo poche ore.

Una migliore cultura chimica permetterebbe di chiarire alcuni "grandi" misteri, come il buco dell'ozono stratosferico o l'effetto serra dovuto alle modificazioni chimiche dell'atmosfera, ma permetterebbe anche di capire e di conoscere meglio tantissime altre cose, negli alimenti, nei cosmetici, nelle tinture e nei preparati per ondulare i capelli, nelle precauzioni da prendere quando si deve lavare e stirare, nei meccanismi --- chimici --- con cui funzionano le fotocelle solari o le macchine per trasmissione in facsimile, più note come "fax", o i "cuori" dei computers e dei telefoni cellulari, tutti oggetti che stanno alla base di produzioni e di consumi di massa. Se se ne sapesse di più, forse molti pericoli e inconvenienti ed errori sarebbero evitati.

Un altro importante aspetto del valore educativo della chimica sta nell'abitudine a pensare a tre dimensioni. Tutte le cose sono a tre dimensioni, ma noi siamo abituati a disegnarle su un foglio, su un piano. La conoscenza chimica offre continuamente l'occasione per aiutare a immaginare, a pensare e a "vedere" i corpi nello spazio. La molecola dell'acqua H_2O , $\text{H}-\text{O}-\text{H}$, deve tutte le sue stranezze, fondamentali per la vita, proprio al fatto che ciascuna molecola si lega nello spazio non solo alle altre molecole di acqua, ma a tutti i corpi a cui si avvicina e con cui viene a contatto.

La chimica del carbonio deve la sua bellezza e il suo fascino proprio al carattere tridimensionale degli atomi e delle molecole e, anche se ce ne siamo dimenticati, la scoperta di tale carattere fu una vera rivoluzione culturale. Purtroppo non possiamo fare a meno, per ragioni pratiche, di scrivere le formule su un piano, ma forse questo stesso limite è un'occasione per ricordare continuamente che le molecole sono sempre tante, tutte insieme e distribuite in tutte le direzioni.

Alla fine degli anni quaranta del secolo scorso il chimico americano Linus Pauling ebbe, come sopra ricordato, il premio Nobel per aver "pensato" che le molecole delle proteine fossero disposte ad elica, come si vide sperimentalmente meglio in seguito. Questa intuizione da sola permise di risolvere tutti i misteri del comportamento delle proteine, pietre costitutive fondamentali della vita. Una decina di anni dopo J. Watson (1928-) e Francis E. Crick (1916-2004) ottennero il premio Nobel per aver scoperto la struttura del DNA, una catena di molecole di zucchero, di acido fosforico e di alcune "basi" (adenina, timina, guanina, e citosina), disposte in "doppia elica" nello spazio. La disposizione spaziale delle migliaia di atomi di ciascuna molecola di DNA ha consentito di spiegare il funzionamento di queste molecole fondamentali per la "fabbricazione" di ciascuna proteina, sempre uguale, specifica per ciascuna parte di ciascun essere vivente. Una intuizione tridimensionale ha insomma risolto problemi di conoscenza fondamentale della vita e ha fatto salpare la nave delle conoscenze nello sterminato oceano delle biotecnologie.

Penso che si potrebbe, volendo, davvero dare della chimica una immagine gioiosa e avventurosa, una immagine anche di bellezza, e con essa una visione più coraggiosa della vita; si renderebbe un servizio alla società, all'economia, e all'ecologia --- e alla stessa "chimica", presentabile senza imbarazzo nella buona società.

Giochi della Chimica e Olimpiadi 2011

Mario Anastasia

Dipartimento di Chimica, Biochimica e Biotecnologie per la Medicina -Via Saldini, -50 Milano

Si sono conclusi anche quest'anno i Giochi della Chimica con la selezione dei campioni nazionali delle tre categorie A, B e C in cui sono distinti gli studenti delle scuole medie superiori.

Come molti studenti e professori sanno, i Giochi della Chimica sono una delle più importanti manifestazioni nazionali che ogni anno coinvolge tutti gli studenti delle scuole medie superiori. La manifestazione, patrocinata dal Ministero della Pubblica Istruzione, è organizzata dalla Divisione di Didattica Chimica della Società Chimica Italiana (SCI) e ha lo scopo di stimolare l'interesse dei giovani verso la conoscenza della Chimica, facendo loro comprendere l'importanza di tale Scienza per la vita dell'uomo e dell'intero universo. Analoghe competizioni si svolgono infatti non solo in Europa ma in tutto il mondo, anzi i paesi balcanici, che hanno dato inizio alle Olimpiadi della Chimica sono molto più attivi di quelli dell'Europa occidentale nell'organizzazione di competizioni scientifiche.

Le competizioni sono in genere valide per la selezione della rappresentativa nazionale alle Olimpiadi Internazionali della Chimica. In Italia è anche omologata alla 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. Il sottoscritto Mario Anastasia ha l'onore di essere il responsabile nazionale dell'organizzazione. Come tale ha il compiti di organizzare le selezioni in Italia, prima a livello Regionale e poi a livello Nazionale. Conta sulla collaborazione di un gruppo di volontari che costituiscono un comitato scientifico e organizzativo, dell'aiuto di una squadra di giovani docenti, in genere ricercatori universitari specializzati nelle varie discipline, nonché della preziosa collaborazione capillare, a livello nazionale, di tutti i Colleghi Presidenti delle Sezioni Regionali della SCI. Questi operano in prima persona o nominano un responsabile che ogni anno si incarica di organizzare e seguire, a livello regionale, lo svolgimento delle selezioni regionali nel rispetto delle indicazioni del comitato organizzativo uniche per tutt'Italia. I Presidenti di sezione regionale della SCI ricevono dal coordinatore nazionale una serie di avvisi che girano ai licei e agli istituti tecnici della loro regione in modo da coinvolgere il maggior numero di scuole e di studenti. La competizione, che quest'anno ha compiuto il suo ventisettesimo anno, è aperta agli studenti di tutte le Scuole Secondarie Superiori che, come si è detto, partecipano a tre distinte classi di concorso: la classe "A" riservata agli studenti dei trienni iniziali di qualsiasi tipo di scuola, la classe "B" riservata agli studenti dei successivi bienni (Licei e Istituti tecnici), la classe "C" riservata agli studenti dei bienni a indirizzo chimico degli Istituti Tecnici e Professionali. Dopo una selezione a livello delle diverse Scuole, i professori dei vari Istituti inviano i loro campioni alle selezioni regionali.

Dopo le selezioni regionali, dove i giovani partecipanti devono risolvere 60 quesiti a risposta suggerita che riguardano argomenti di chimica differenziati per le tre categorie: A, B e C (in verità, le categorie A e B hanno in comune 40 quesiti, mentre le categorie B e C hanno in comune 20 quesiti), il primo classificato per ogni categoria, partecipa a una selezione nazionale dei Giochi della Chimica. Questa si svolge da sempre presso il ridente Centro Giovanni XXIII di Frascati, dove vengono proclamati i campioni nazionali delle tre categorie. Il giorno successivo alla gara a quesiti a risposta suggerita, si svolge un'ulteriore selezione con problemi a risposta aperta. A questa selezione partecipano i primi classificati delle categorie C e B e ogni ragazzo che non temendo di essere mortificato, dagli esercizi più duri, chiede di partecipare. Con questa gara vengono selezionati 8 candidati che vengono allenati a Pavia, per sette giorni. Tra di essi vengono selezionati i quattro prescelti che partecipano alle Olimpiadi. Quest'anno le Olimpiadi sono alla 43^{ma} edizione e si svolgeranno in Turchia, ad Ankara (www.icho2011.metu.edu.tr) dal 9 al 18 luglio.

La selezione regionale si è svolta il giorno 14 maggio, un sabato, come sempre, per poter utilizzare in tutt'Italia le aule universitarie. Le prove nazionali si sono svolte invece il 27 maggio e le selezioni per gli allenamenti si sono svolte a Pavia l'11 giugno.

A Frascati il pomeriggio del 26 maggio i concorrenti sono stati accolti da un pulmino messo a disposizione, come ormai tradizione, dalla Società Gibertini Elettronica che da sempre si fa carico di fornire questa agevolazione ai partecipanti anche per il giorno del ritorno. Però questa volta le gare non sono svolte presso il centro, ma in una villa nelle adiacenze, dove l'ospitalità è stata sempre all'altezza della tradizione. Ciò è avvenuto perché il Centro Giovanni XXIII era occupato da un numero esorbitante di militari, giunti a Frascati per le prove della cerimonia del 2 giugno, particolarmente pomposa, visto che ricorreva il centocinquantenario dell'unità d'Italia. La sera dell'arrivo i partecipanti si sono salutati e hanno cenato assieme in un'allegria serata dove i vecchi partecipanti, allievi e docenti, hanno ritrovato gli amici di tanti anni di impegno. La nuova residenza è stata apprezzata per la maggior tranquillità e ha permesso uno scambio di esperienze didattiche e culturali tra docenti, maggiore di quello solito. Si è innescata una discussione non programmata, su argomenti di chimica tra professori e studenti che si è protratta per lungo tempo, spontaneamente. Professori e giovani allievi hanno apprezzato la cucina del nuovo cuoco e l'ospitalità che su costante supervisione di Padre Antonio, il coltissimo Padre, responsabile del Centro, è stata sempre di alto livello. La graduatoria generale, qui allegata dovrà essere completata con l'inserimento di qualche regione che ha avuto un contrattempo con il computer. Qui ricordiamo solo i vincitori nazionali delle tre categorie:

Giochi della Chimica e Olimpiadi 2011

Classe A:

- 1) Yu Kaiqi, medaglia d'oro; Veneto con 142 punti
- 2) Ribezzi Giuseppe, medaglia d'argento; Puglia con 130 punti
- 3) Farina Daniele, medaglia di bronzo; Emilia Romagna con 125 punti

Classe B:

- 1) Lugli Gianmarco, medaglia d'oro; Puglia con 176 punti
- 2) Valsecchi Giorgio, medaglia d'argento; Lombardia con 168 punti
- 3) Destefanis Maurizio, medaglia di bronzo; Piemonte Valle D'Aosta con 165 punti

Classe C:

- 1) Lanotte Nicola, medaglia d'oro; Basilicata con 156 punti
- 2) Schullian Otto, medaglia d'argento; Trentino Alto Adige con 130 punti
- 3) Palazzo Ivan, medaglia di bronzo; Puglia con 128 punti

La sera del 28 maggio si è svolta la cerimonia della premiazione. Come al solito i vincitori hanno ricevuto al posto delle medaglie un delfino d'oro della Pomellato, offerto, come tradizione, dalla SCI. La Gibertini, come tradizione ha offerto una bilancia all'Istituto del primo classificato della classe C. La Bracco ha offerto cappellini, borse di stoffa pieghevoli, penne grafiche a tutti i partecipanti e chiavette USB da 2 GB per i vincitori, senza risparmio di mezzi. Anzi, questa volta ha pensato anche ai partecipanti alle Olimpiadi, dove i mentor potranno portare alcuni poncho di emergenza e ombrellini. La Lanxess, una multinazionale Chimica, come ha fatto vedere il Prof Anastasia, ha invece offerto ai campioni la possibilità di effettuare degli stage presso i propri stabilimenti in Italia. Il sottoscritto, ha illustrato tale possibilità ai ragazzi, documentando anche con una proiezione la serietà dell'importante Industria Chimica che si mostra sensibile alla manifestazione dei giochi.

Anche questa edizione si è svolta quindi con successo e il sottoscritto ha ringraziato oltre al Ministero e alla SCI, tutti coloro che hanno contribuito a renderla possibile. In primis gli studenti partecipanti e i loro professori, tutti i colleghi presidenti delle sezioni regionali della SCI e i loro fiduciari che più da vicino hanno collaborato a rendere possibile l'evento.

La mattina del 28 maggio si sono svolte le prove per selezionare i candidati da allenare a Pavia. Dopo le prove, sono stati selezionati i seguenti giovani:

Lanotte Nicola, dell'ITIS "G.B. Pentasuglia" di Matera
Schullian Otto, dell'ITI in lingua tedesca Brunico di Brunico
Palazzo Ivan, dell'ITIS "Luigi Dell'Erba" di Castellana Grotte (BA)
Melani Andrea, dell'ITIS "Buzzi" di Prato
Barluzzi Luciano, del Liceo Scientifico "G. Marconi" di Foligno
Catalano Marco, dell'ITIS "Luigi di Savoia" di Chieti
Lorenzi Lea, dell'ISIS "J. Stefan" di Trieste
Alice Balbi, del Liceo Scientifico Tecnologico "Liceti" di Rapallo (GE)

I giovani sono stati ospitati a Pavia, presso il Collegio Plinio Fraccaro (www.pliniofraccaro.it) dove ormai si tengono gli allenamenti. Le due ragazze sono state ospitate presso il Collegio Nuovo. Il Collegio Fraccaro è sorto nel 1963, ma vanta già molti illustri allievi, tra cui un ministro dell'attuale Governo. E' Retto dal Prof Giorgio Panella che con molto piacere ospita i nostri atleti, convinto dell'importanza che la manifestazione ha per stimolare i nostri giovani a studiare le scienze. Anche la gentilissima e disponibilissima Signora Donatella Marchetti, Economa del Collegio, è felice di ospitare i ragazzi che vengono da lei "adottati" per tutto il periodo degli allenamenti.

Negli allenamenti, tutti si sono dati da fare, alcuni riuscendo anche bene. In verità, si notano lacune nazionali in chimica organica. Quasi tutti rivelano che in Italia la chimica organica andrebbe attivata meglio. Forse perché i programmi sono a fine anno e in molti casi non si svolgono.

Comunque sulla base dei risultati e delle indicazioni tratte da vari fattori, compreso l'entusiasmo e la volontà dei nostri a impegnarsi per le Olimpiadi, abbiamo selezionato sette candidati. Qui gioca molto anche l'aiuto dei Presidi e delle Scuole che, di fronte ad eccellenze, quali sono i nostri ragazzi, dovrebbero favorire il loro interesse per materie scientifiche e aiutare i giovani a dedicarsi al loro studio, magari tralasciando qualche materia letteraria che invece monopolizza sempre l'impegno dei nostri giovani.

Sappiamo che qualche giovane sarà rimasto scontento di non essere stato selezionato, ma anche noi siamo sempre dispiaciuti di non poter selezionare tutti. Alle Olimpiadi partecipano solo quattro giovani e la selezione al secondo turno sarebbe più dolorosa. Inoltre, come gli allenatori di calcio, speriamo di aver visto giusto.

Dopo gli allenamenti il gruppo dei prescelti risulta composto da:

Palazzo Ivan, dell'ITIS "Luigi Dell'Erba" di Castellana Grotte (BA)

Melani Andrea, dell'ITIS "Buzzi" di Prato

Barluzzi Luciano, del Liceo Scientifico "G. Marconi" di Foligno

Balbi Alice, del Liceo Scientifico Tecnologico "Liceti" di Rapallo (GE)

Questi giovani torneranno a Pavia nel pomeriggio del 3 luglio per un secondo allenamento. Questa volta tutti saranno ospitati presso il Collegio Fraccaro da dove partiranno per Ankara sabato 9 luglio. Un taxi li porterà a Malpensa e da qui si volerà a Instambul e poi ad Ankara.

Ed ora un po' di numeri. Alle gare nazionali di quest'anno hanno partecipato, salvo errori e omissioni, circa 7000 studenti, a loro volta selezionati localmente da 28-30.000 studenti (vedi Tabella).

NUMERO DI STUDENTI PARTECIPANTI

	A	B	C	Totale	Anno 2010
Abruzzo	52	119	15	186	181
Basilicata	57	113	46	216	192
Calabria	166	268	66	500	779
Campania	141	422	37	600	549
Emilia Romagna	218	279	53	550	610
Friuli	107	176	39	322	381
Lazio	66	164	45	275	302
Liguria	53	260	21	334	174
Lombardia	96	173	87	356	366
Marche	95	158	80	333	424
Piemonte	115	265	61	441	484
Puglia	174	357	37	568	567
Sardegna	31	76	7	114	101
Sicilia	133	346	84	563	469
Toscana	106	166	86	358	392
Trentino Alto Adige	75	15	79	169	213
Umbria	55	141	14	210	184
Veneto	151	309	87	547	618
Molise	23	70	/	93	/
Totale	1914	3877	944	6735	6986

PARTECIPAZIONE SCUOLE PER REGIONE

	A	B	C	Totale	Anno 2010
Abruzzo	10	18	4	32	18
Basilicata	5	7	4	16	12
Calabria	24	29	11	64	38
Campania	26	68	5	99	71
Emilia Romagna	22	30	7	59	46
Friuli	4	20	4	28	/
Lazio	9	23	7	39	/
Liguria	8	22	3	33	15
Lombardia	24	40	16	80	74
Marche	12	16	7	35	28
Piemonte	14	33	8	55	51
Puglia	27	71	6	104	75
Sardegna	4	7	2	13	13
Sicilia	20	49	10	79	61
Toscana	24	36	12	72	55
Trentino Alto Adige	10	3	2	15	24
Umbria	8	16	4	28	19
Veneto	26	40	12	78	56
Molise	4	9	/	13	/
Totale	281	537	124	942	656

Come si può notare, i dati riguardanti il numero di scuole mostrano invece un incremento di interesse e di partecipazione dei vari istituti superiori alla nostra iniziativa.

Per questioni di spazio, le classifiche specifiche della prova regionale compattate saranno pubblicate nel sito della SCI e su Chimica nella Scuola (CNS). Così anche la classifica delle prove Nazionali.

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.

Risultati Olimpiadi 2011

Luciano Barluzzi	medaglia d'argento	<i>Liceo Scientifico G. Marconi di Foligno (PG)</i>
Andrea Melani	medaglia di bronzo	<i>ITIS Buzzi di Prato</i>
Ivan Palazzo	medaglia di bronzo	<i>ITIS Dell'Erba di Castellana (Ba)</i>

Le prove sono state un po' più difficili degli altri anni e quindi possiamo ritenerci più che soddisfatti. Il tema della prova era: " *to the future through the chemistry*", riportava infatti una serie di esercizi sull'energia e in particolare l'idrogeno e il suo stoccaggio negli idruri.

I nostri ragazzi, compresa Aliec Balbi che per un pelo non ha preso il bronzo hanno fatto onore alla Chimica Italiana e certo fanno ben sperare per il futuro.

Se si pensa che il tempo dedicato al loro allenamento finale è stato di sole due settimane, così come previsto del resto dal regolamento Olimpionico, poco rispettato da molti degli altri paesi, bisogna proprio ritenere i nostri campioni degli eroi. Il Campione mondiale è un Cinese, mi verrebbe da dire Naturalmente!

Il Coordinatore Mario Anastasia ringrazia tutti Colleghi presidenti di Sezione SCI che hanno collaborato direttamente o tramite loro delegati alla buona riuscita di tutta l'operazione.

Profondamente rattristato per la notizia della recente scomparsa del Prof. Giorgio Modena, il Comitato organizzatore e i campioni hanno sentito il dovere di dedicare la vittoria e le medaglie alla Memoria del Professore, in considerazione di quanto Egli ha fatto per dare inizio agli attuali Giochi della Chimica in Italia, suggerendone anche il primo programma scientifico.





Luigi Campanella

Lettere al Direttore

Riflessioni sull'impostazione del laboratorio

Il 29 settembre 2007, nel laboratorio del 3^a CH per la determinazione del punto di ebollizione con la tecnica del capillare, gli studenti hanno compiuto diverse azioni apparentemente prive di logica, ma alla fine tutti o quasi, compiendo errori e riconoscendoli (dal momento che tali errori comportavano conseguenze ed evidenze assurde, come il liquido che non saliva nel capillare perché questo era stato posto con la parte chiusa in basso o privato di tale parte, come la completa evaporazione del liquido, o la temperatura che veniva calcolata per differenza rispetto a quella ambiente, con risultato palesemente troppo basso), si “spera” che abbiano acquisito la tecnica corretta.

Fin qui tutto bene, nessuno scandalo: nel *metodo per addestramento*, o si spiega la tecnica seguendo gli allievi uno ad uno, presenziando mentre eseguono le loro azioni, oppure, se ciò non è possibile, è inevitabile farli lavorare individualmente o a coppie e accettare i conseguenti “tentativi ed errori”. Occorre insomma un pre-addestramento di lavoro autonomo, dove “poter compiere tutti gli errori possibili”. Tra parentesi, non mi sento di poter affermare gli errori sopra detti siano stati il risultato di una superficialità o del menefreghismo degli studenti: “mettiamoci il camice e lavoriamo!”; detto da loro in coro non è poco, alle ultime due ore del sabato, durante le quali *non si sono distratti un attimo*. Una classe molto motivata. Una motivazione da sfruttare al meglio.

In realtà, come vedremo, sono io che ho compiuto una serie di errori, e sviste, con la mia acquiescenza alla prassi addestrativa.

La prassi addestrativa dice: “se si deve imparare una tecnica, si deve praticare quella tecnica”. Ma la prassi non dice nulla su: “perché si deve praticare quella tecnica? perché lo si deve fare in quel modo? e cosa ce ne facciamo dei risultati che produce?”

Il *metodo del problem solving* prevede invece che le azioni compiute in laboratorio siano guidate dall'obiettivo di risolvere un dato problema. Ma questo metodo viene confuso con il metodo della scoperta, per cui, si dice: “gli allievi non potranno mai scoprire da soli il metodo del capillare, pertanto, prima di assegnare loro dei problemi sperimentali, tale tecnica dovrà essere acquisita, secondo la prassi, e ben padroneggiata”. In base a questo ragionamento avevo anche io accettato questo laboratorio. Ma poi ho cominciato a ragionare, ricordare, comparare con altre esperienze passate, sulla natura degli errori degli studenti, e mi sono convinto che *stiamo sbagliando drammaticamente strada*.

Innanzitutto vediamo come è stato introdotto il “punto di ebollizione”: come una delle più importanti proprietà fisiche degli idrocarburi che loro studiano, considerando che quelli disponibili in laboratorio (a parte il metano) sono tutti liquidi. Quindi ho chiesto loro se conoscevano il punto di ebollizione di qualche liquido (Risposta: l'acqua), se ritenevano che continuando a riscaldare l'acqua bollente la temperatura aumentasse o no (Risposta: no), se l'alcol bolle più basso o più alto, “cosa significa secondo voi ‘liquido più volatile?’”, quale sarebbe il punto di ebollizione di un miscuglio acqua (100°C)/alcol (80°C) e se, continuando a far bollire tale miscuglio, la sua temperatura cambierebbe oppure no. Risposte e riflessioni di buon senso, di esseri pensanti. Infine: “come fareste voi a determinare il punto di ebollizione di questi idrocarburi? (pentano, esano, cicloesano, eptano, 2,2,3-trimetilpentano)?”

Posto il *problema*, giunge subito la soluzione: “mettiamo il liquido in un becher, lo riscaldiamo finché non bolle e a quel punto misuriamo la temperatura col termometro.” Prima difficoltà: “abbiamo già visto che una caratteristica degli idrocarburi è di prendere fuoco (sguardo sadico e compiaciuto), e qui vedo solo becchi Bunsen. Come pensate di riscaldare i liquidi?” Mostro con dei gesti che i vapori salirebbero fino a uscire dal becher e ridiscenderebbero sulla fiamma, incendiandosi. Risposta: “scaldiamo con una piastra elettrica”. “Bene, ma di liquido, quanto ne usiamo? Mezzo litro per volta? Mezzo becher? Riempiamo il laboratorio di vapori di idrocarburi e “tiriamolo” tutti insieme?” A questo punto viene detto loro di leggere, dal testo, la faticosa procedura del metodo del capillare, nella quale si utilizza una *piccolissima* quantità di liquido (sei gocce), ma qui *iniziano i guai*.

Iniziamo “bene”, leggendo un’introduzione secondo cui la determinazione del punto di ebollizione non serve praticamente a nulla. Ma i ragazzi, incuranti e comunque motivati, proseguono a leggere i dettagli operativi: tubi di Thiele e capillari che non hanno mai visto in vita loro, olio di vaselina, ecc., vedono un tubicino reale e si rendono conto che il termometro lì non c’entrerà mai... Quindi li interrompo per far loro notare che hanno appena letto che la metodica prevede di spegnere la fiamma appena si producono bollicine dal liquido, ma ancora non c’è scritto di leggere la temperatura. Che strano! Poi la temperatura viene letta due volte al rientrare del liquido, che ormai non bolle più, nel capillare. Oramai siamo entrati nell’ambito del tecnicismo incomprensibile. *Ci dobbiamo fidare, siamo certi che riusciremo a fare tutto quanto c’è scritto, per filo e per segno, seguendo accuratamente le istruzioni.* Quindi ben vengano altre accortezze pratiche, scaldare lentamente, a intermittenza, sul gomito laterale e, in aggiunta alle indicazioni scritte, anche quelle verbali: non scaldare mentre si legge la temperatura, che deve salire lentamente, a che altezza mettere il tubicino e il bulbo del termometro nel collo del tubo Thiele, come evitare il rischio che l’elastico si rammollisca e tutto finisca in fondo al tubo, il dover abituarsi a tenere d’occhio la temperatura su una scala graduata che richiede 11 gradi di vista su 10, nozioni teoriche, come la possibilità di controllare la presenza di un miscuglio, facendo evaporare metà del liquido, raffreddando, e ripetendo poi la prova sulla metà residua, ecc...

Tutto questo *bombardamento di informazioni*, che pure fanno appello al buon senso, senza essere lì ad agire e pensare con le mani in pasta! Come possiamo minimamente pensare che scrivendo prima un piano di lavoro, o usando qualsiasi altro deterrente sull’anticipazione riflessiva delle azioni, i ragazzi vadano ai tubi Thiele e non compiano errori? Li compiranno certamente, magari anche di qualche tipo che comporta rischi all’incolumità fisica. Infatti quanto sto *criticando*, della metodologia addestrativa, comprende anche ciò che si fa comunemente per prevenire i rischi all’incolumità delle persone: spiegare per bene, da uno a molti, pretendere che si padroneggi un protocollo per averlo eseguito una volta nella vita.

Ma ciò che mi preoccupa è quanto accadrà, quanto *sta già accadendo se non prendiamo provvedimenti*, a livello psicologico, nei ragazzi.

Premetto un punto. Alla luce delle riflessioni, che sto facendo non nella mia sequenza effettiva, ma nella maniera da chiarire il più possibile il contesto e di riuscire a convincere più persone possibili, credo di aver dimenticato una domanda fondamentale da fare ai ragazzi: “ma secondo voi, alla fine, fornirà risultati più accurati il metodo del capillare o quello del becher su piastra da voi proposto?” Sono pronto a giocarmi lo stipendio di un mese che 22 ragazzi su 22 diranno che il metodo del capillare è più accurato. E invece non è vero!!!

Psicologicamente accadrà che i ragazzi seguiranno fedelmente, anche per non incappare più in errori, la procedura, che fornisce risultati “accuratissimi”, e perderanno di vista ciò che stanno facendo: misurare, *riprodurre* una proprietà caratteristica e predeterminata sperimentalmente di una sostanza quasi pura. Il loro concetto di sostanza è ancora in formazione! Pensare che tale concetto si rafforzi seguendo una metodica è una beata illusione! Essi non assoceranno le loro azioni a nessuno degli alcani che hanno messo nel grafico n° carboni/T_{eb}, a nessun idrocarburo *studiato, o disegnato*, in quanto dotato di una *propria* temperatura di ebollizione. La tecnica, la sequenzialità, prenderanno il posto del buon senso e del significato complessivo, dell’obiettivo di ciò che stanno facendo.

Smetteranno di pensare. E non solo: *Faranno nuovi errori*, perché nessuna procedura operativa per quanto minuziosa, riesce anche a evitare di essere ampollosa e quindi impossibile da seguire, e non riuscirà comunque a evitare l’immensa imprevedibilità nel compiere errori degli studenti (come accadrebbe ad adulti inesperti). I ragazzi capiranno solo che *nel laboratorio non si devono affrontare problemi, ma evitare i problemi, eseguendo meticolosamente istruzioni; capiranno che le possibilità di utilizzo della loro intelligenza sono limitate* e che nella maggior parte dei casi dovranno fare affidamento agli esperti e ai testi delle metodiche. Se moltiplichiamo questo laboratorio per *n*: per la pratica della filtrazione, della determinazione del punto di fusione, della cristallizzazione, ecc. ecc., affinché essi padroneggeranno tecnicamente tutto ciò, trascorreranno almeno tre mesi. Con quale risultato? Cosa otterremo quando poi presenteremo loro un piccolo, modesto, problema sperimentale, senza metodica?

Avremo dei ragazzi che si aspettano che qualcuno dica loro che cosa fare, ma in più saranno infinitamente più annoiati di come non siano stati nel loro primo laboratorio a coppie. Ma questo è quanto da anni constatiamo! Ragazzi che si iscrivono motivati alla specializzazione di chimica, e poi si perdono lungo il percorso. Certo non sono tutti ugualmente motivati, ma alla fine prende il sopravvento chi non fa, chi dice al compagno: “non studiare”. E giungono al quinto stanchi, con l’atteggiamento del vedere *anche il nuovo come routine*.

Certo, avremo alcuni bravi tecnici, ma tecnici di che cosa? Tecnici del punto di ebollizione? O del punto di fusione col tubo Thiele e capillare? Ma quando mai, nella loro professione futura, si troveranno a fare queste cose? Credete che applicheranno una metodica di quelle viste a scuola nella professione? Ma come ci pensate!

Ma mettiamo da parte l’aspetto professionale: l’errore maggiore è quello pedagogico e psicologico. Non faremo abbastanza pratica di risoluzione dei problemi, i ragazzi non risolveranno mai dei problemi con le loro mani e con il loro buon senso, perderemo *un’occasione formativa importante di utilizzare il laboratorio per imparare a imparare*.

Il nostro piano: insegnare le tecniche, in sicurezza, e solo allora (eventualmente) assegnare problemi, è *sbagliato e destinato a fallire*.

Allora che fare? *Tutte* le attività didattiche di laboratorio (e per la verità anche quelle “teoriche”) *devono* accadere in modo autenticamente problematizzato. Dobbiamo immediatamente correggere il tiro. Ad esempio, nello studio del punto di fusione, caratteristica invece fondamentale in chimica organica, più dal punto di vista teorico (importanza per la purezza e la caratterizzazione) che da quello tecnico-professionale, imposteremo fin dall’inizio dei *problemi autentici*. Le sostanze fondono senza produrre immense quantità di vapori, e comunque abbiamo le cappe aspiranti. Troveremo due sostanze solide che hanno più o meno lo stesso punto di fusione e chiederemo loro di trovare tale punto di fusione, di determinare il punto di fusione del miscuglio omogeneizzato delle due sostanze, di prevedere tale risultato. Potremo creare almeno uno stimolo, uno spiazzamento. Magari qualcuno si chiederà: “e se due liquidi hanno lo stesso punto di ebollizione, a quanto bolirà il miscuglio?” E dovranno fare tutto ciò senza seguire metodi preconfezionati, ma i propri metodi, sottoposti comunque a discussione, negoziazione, controlli.

Perché a noi interessa curare ciò che accadrà nella loro mente a livello di sistemazione delle conoscenze teoriche, conoscenze che porteranno dietro anche nella loro professione, ma per un 40% anche negli studi universitari. Non neghiamo l’importanza della manualità, ma soprattutto noi dobbiamo insegnare loro ad amare gli stimoli intellettuali, il nuovo e l’apparentemente complesso. Perché a noi interessa il livello psicologico dell’auto-efficacia, del *sentirsi capaci di pensare per risolvere problemi*, anche se il modo da loro usato per risolverli non è quello più perfetto tecnicamente. Senti che non possono migliorare se sotto-utilizziamo il loro cervello per la maggior parte del tempo, e magari richiediamo di usarlo quando si sono stufati e annoiati e hanno perso la fiducia in se stessi.

Alex A. Johnstone, una laurea in pedagogia e una in chimica, decenni di attività di ricerca su migliaia di studenti e con decine di allievi-collaboratori, ha scoperto tutto questo da molto tempo: **le metodiche creano rumore di fondo, la memoria di lavoro dello studente si sovraccarica, i laboratori diventano conseguentemente spreco di tempo, di materiale e di occasioni formative.**

E la *soluzione* consiste nel problem solving sperimentale, che non è una tecnica, uno strumento, ma una pedagogia. Noi abbiamo il dovere di leggere ciò che Johnstone propone, e di **attuarlo**.
<http://www.wcsi.unian.it/educa/main.html> à ENTRA à link a sinistra, voce problem solving.

Alfredo Tifi

ITIS “Divini” San Severino Marche (MC)
 alfredo.tifi@gmail.com



Maurizio Anastasio ha realizzato un lavoro focalizzato sulle metodologie di studio, di cui si riporta un sunto rappresentativo; l’obiettivo principale è di avvicinare lo studente o chiunque abbia interesse ad apprendere una disciplina utilizzando una serie di regole attraverso un approccio rigoroso e nel contempo flessibile la cui applicazione costante, ma, soprattutto consapevole, può garantirne il successo finale.

Il lavoro ha avuto origine da un’idea progettuale di Giovanna Alquati, dirigente scolastico del Liceo Classico «G. Racchetti» di Crema, che mi aveva proposto di organizzare e tenere durante l’anno scolastico 2007-2008 una serie di lezioni focalizzate sul tema “*Metodologie di Studio*”; il corso, pomeridiano e bisettimanale, sarebbe stato rivolto a studenti con difficoltà di apprendimento, purché le difficoltà fossero derivate solo da errate impostazioni e applicazioni di metodologie di studio e/o mancanza parziale o totale delle stesse.

Analizzando i dati emersi dalle indagini condotte informalmente nelle varie classi in cui ho insegnato in un arco temporale di circa cinque anni, relative alle metodologie di studio utilizzate dagli allievi, studiando i comportamenti e le reazioni degli studenti durante il corso sui metodi di studio, riesaminando criticamente le esperienze sia come dipendente sia in alcuni casi come formatore presso alcune aziende nelle quali avevo lavorato, e, in ultimo, effettuando un’attenta e puntuale ricerca bibliografica di libri, articoli e pubblicazioni inerenti all’argomento proposto, ho potuto stendere alcuni appunti da cui ho sviluppato poi il testo di cui in questa sede si riporta un sunto.

La costruzione della metodologia, quindi, è stata realizzata utilizzando esperienze diversificate.

La diversità culturale è da intendersi non solo in termini di contenuti diversi, ma, anche e soprattutto, di figure professionali diverse che collaborino allo sviluppo di uno stesso progetto.

Infatti, se si combinano elementi che possono apparire incompatibili e molto distanti l’uno dall’altro è molto probabile che si riescano a scoprire nuove strade, nuovi sistemi, nuove teorie che possono condurre a una visione unitaria diversa dalle singole teorie iniziali e i vantaggi rappresentati dall’equazione paradosso $1+1=3$ risulteranno assolutamente innegabili ed evidenti.

La diversità culturale si riflette - è una mia opinione suffragata da alcuni dati sperimentali - anche sul rapporto che intercorre tra metodologie d'insegnamento (la specifica disciplina e il relativo docente) e metodologie di studio (la specifica disciplina e l'alunno).

Una visione più moderna, avanzata della realtà sarebbe quella di evidenziare nuove e più vantaggiose differenze, basate **non solo** sulla trasmissione del **sapere da insegnare**, ma su ben altri valori, che si identificano con un diverso peso dei rispettivi contenuti culturali, una diversa esperienza, una diversa capacità, una differente visione della realtà, in altre parole vissuti diversi.

Queste due realtà - *appaiono ancor oggi come due condizioni difficili se non impossibili da interagire* - possono diventare due facce diverse della stessa medaglia; quanto più frequentemente si realizzeranno in maniera costruttiva, continuativa, ma soprattutto sinergica i rapporti **docente-alunno**, tanto più verrà assicurato il pieno successo per entrambe le due figure.

Ritorniamo ai fondamenti da cui si è sviluppata una Metodologia di Studio.

I fondamenti o prodromi che hanno concorso alla sua stesura sono stati:

(a) La conoscenza dell'ambiente sia scolastico sia universitario attraverso i corsi d'insegnamento su discipline diverse nelle due istituzioni.

(b) L'elaborazione dei risultati delle indagini aventi per oggetto la modalità e la tempistica di studio adottate dagli studenti delle classi in cui ho lavorato.

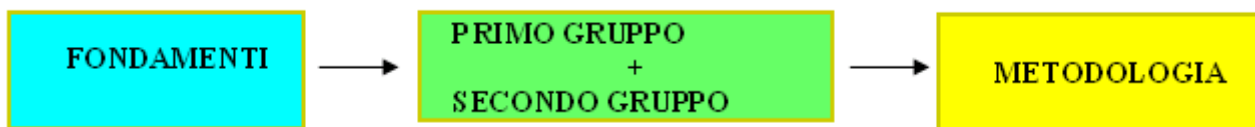
(c) La responsabilità di corsi e seminari realizzati presso la maggior parte delle aziende in cui ho lavorato.

(d) La gestione di progetti a contenuto tecnico-scientifico realizzati in *partnership* tra le aziende in cui ho operato e alcuni istituti e dipartimenti universitari.

(e) Una significativa propensione per le scienze umane, in particolare le tecniche psicoanalitiche, la cui seppur modesta conoscenza mi ha permesso di gestire con successo gruppi notevolmente critici.

(f) Un forte interesse per la didattica delle discipline, con particolare e specifico riguardo per quelle afferenti ai miei studi, Chimica, Scienze Biologiche, Matematica.

L'elaborazione dei fondamenti ha prodotto due gruppi di variabili indicati come **Primo Gruppo** e **Secondo Gruppo** che costituiscono i punti chiave della Metodologia secondo lo schema qui di seguito rappresentato:



Il Primo Gruppo comprende i punti chiave della metodologia, il secondo è costituito da quelli a contenuto trasversale che si affiancano a quelli del primo gruppo e completano la metodologia proposta.

Un altro aspetto fondamentale del libro è l'accento che viene posto sulla differenza tra **Metodo di Studio** e **Metodologie di Studio**; tale differenza se applicata può contribuire anch'essa e in misura significativa al successo finale.

Il lavoro termina con le testimonianze di due studentesse e di un dottore in Chimica che spiegano il loro personale approccio ad alcune discipline di cui si riporta in questo sunto un condensato.

I casi citati coprono tre campi diversi, il primo riguarda lo studio dell'Anatomia Umana, il secondo descrive l'approccio ad alcuni corsi della Facoltà di Lettere Moderne, il terzo, invece, molto datato, descrive una metodologia, forse più correttamente un atteggiamento mentale scelto per studiare in una Facoltà universitaria a indirizzo scientifico.

Marta Bustaffa, studentessa in Medicina, ha affrontato lo studio dell'Anatomia Umana utilizzando il "metodo deduttivo" dei cerchi concentrici, realizzando letture sempre più approfondite, sempre più focalizzate sui particolari dove l'ultima lettura l'ha fatta in maniera trasversale, non seguendo l'ordine del libro.

Maria Erika Anastasio, studentessa in Lettere Moderne, aveva scoperto che, per le proprie caratteristiche mentali e per la tipologia di alcuni corsi, a carattere fortemente descrittivo, più letture strategiche del libro di testo seguite da un riassunto, le avevano permesso di affrontare con minori difficoltà lo studio dello specifico corso e di superarlo con risultati molto soddisfacenti.

Attilio Smecca, quando era studente, aveva deciso, dopo alcuni tentativi non soddisfacenti, di affrontare le materie di studio con un forte spirito critico, scoprendo che il mettere in dubbio leggi, formule e gli stessi autori dei testi avevano generato una tale consapevolezza e una conoscenza molto più profonda degli argomenti; il metodo adottato gli aveva segnato per sempre e positivamente il suo futuro.

"Metodologie di Studio"

Proposta di un approccio efficace per aumentare il rendimento a scuola e sul lavoro"

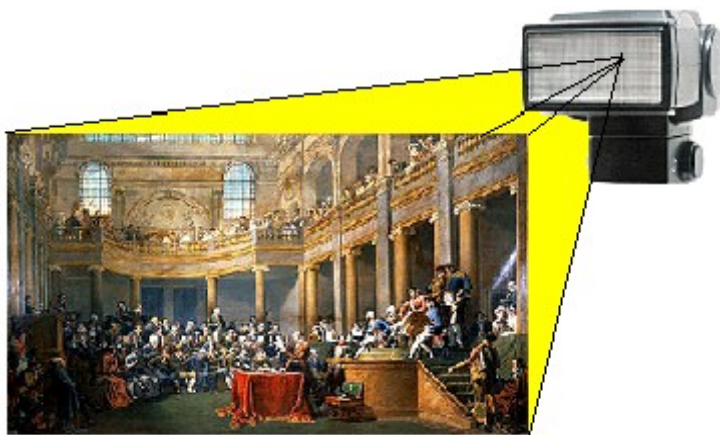
m.anastasio@interproj.it

I Comizi di Lione¹

di

Pasquale Fetto

pasquale.fetto@didichim.org



Riunione a Lione della Consulta della Repubblica Cisalpina

Lo Stato moderno in Italia venne alla luce in pieno periodo Napoleonico, i territori della Repubblica Cisalpina, furono trasformati nel 1802 in Repubblica Italiana nei Comizi di Lione². All'assemblea di Lione furono chiamati notabili, patrizi, letterati e un buon numero di scienziati, tra i quali Barnaba Oriani (matematico, astronomo), Alessandro Volta (fisico), Agostino Bassi (naturalista, botanico), Giuseppe Venturoli (ingegnere), Ludovico Ciccolini (astronomo, fisico, matematico), Luigi Brugnatelli (chimico), Antonio Cagnoli (astronomo, matematico), Pietro Moscati (medico), Giovanni Paradisi (matematico), Luigi Palcani (matematico), Antonio Campana (medico, fisico, chimico), Giuseppe Mangili (naturalista), Domenico Cocoli (fisico, matematico).

La decisione di chiamare degli scienziati in un'assemblea che aveva il compito di sanzionare una nuova costituzione per la Repubblica Italiana, per altro già codificata da Napoleone, potrebbe sembrare *oggi paradossale* se non si considera l'interesse per le scienze che da sempre aveva appassionato Napoleone.

La disponibilità di Bonaparte verso gli scienziati fu accolta molto favorevolmente e diede la possibilità di requisire libri, manoscritti ed opere d'arte di alcuni dei più conosciuti scienziati francesi dal matematico Gaspard Monge, al chimico Berthollet e al botanico Thouin.

La dominazione francese ebbe intrinseca l'attenzione nei confronti dell'istruzione e della cultura. I francesi, d'altronde, conoscevano il potere delle idee e il ruolo che gli intellettuali svolgevano nella società del XVIII secolo.

I Comizi, senza dubbio, ebbero lo scopo di instaurare anche un nuovo rapporto con gli intellettuali chiamati a organizzare il consenso attorno al nuovo regime e soprattutto a fornire le classi di magistrati, funzionari, insegnanti, ingegneri e tecnici di cui l'amministrazione napoleonica aveva urgente bisogno.

In campo culturale, la Repubblica Italiana si avvalse del talento e dell'impegno di importanti scienziati e intellettuali, che operarono soprattutto a Milano, capitale della Repubblica. Tra gli intellettuali, ebbe grande successo Vincenzo Monti, convertitosi agli ideali repubblicani e patriottici dopo un passato conservatore, le cui opere celebrarono Napoleone e rivendicarono orgogliosamente il prestigio dell'Italia nella scienza e nelle arti. Oltre al Monti ricordiamo anche Vincenzo Cuoco, esule da Napoli e autore del famoso *Saggio storico sulla Rivoluzione napoletana*.

Uno dei primi atti della nuova Repubblica fu la legge per la pubblica istruzione (4 settembre 1802) e la creazione dell'Istituto Nazionale (17 agosto 1802).

La pubblica istruzione era suddivisa in elementare, media e superiore. Vennero istituite due università a Pavia e Bologna, due accademie di Belle Arti (Milano e Bologna), quattro scuole speciali: di metallurgia, di idrostatica, di scultura (Carrara), di veterinaria (Modena).

Le scienze e in particolare la matematica ebbero un posto privilegiato nell'insegnamento liceale. Il libro di testo per le matematiche furono i due volumi degli *Elementi di algebra e di geometria* di Vincenzo Brunacci. L'insegnamento universitario fu ripartito in classi e in facoltà. Venne soppressa l'Università teologica e fu creata una nuova facoltà di matematica destinata in particolare alla formazione degli ingegneri e degli architetti.

Dal punto di vista dei contenuti disciplinari, nonostante che molti scienziati dovessero farsi carico di importanti incarichi pubblici, si ebbe nel periodo napoleonico una notevole produzione matematica.

Notevoli furono anche i contributi alla meccanica, all'idraulica e all'astronomia.

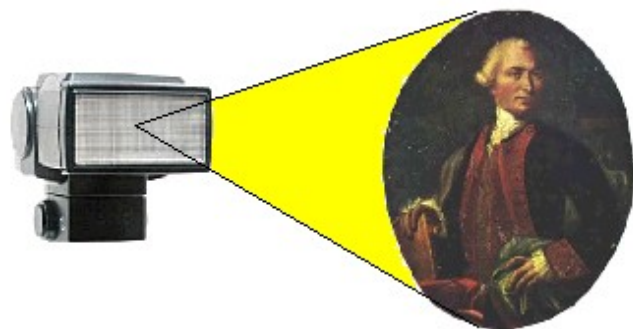
Anche nel campo della storia delle matematiche vi fu una notevole attività

Note:

1) Comizio, dal latino *comitium*, luogo in cui si svolgevano le assemblee dei cittadini

2) (*dicembre 1801*). Assemblea di notabili della Repubblica cisalpina riunitasi a Lione sotto la direzione prima di Talleyrand, poi di Napoleone. Chiamata a sanzionare una nuova costituzione, si adeguò immediatamente alle imposizioni di Napoleone. La Repubblica cisalpina si trasformò in Repubblica italiana e lo stesso Napoleone ne fu eletto presidente.

3) Immagine tratta da http://it.wikipedia.org/wiki/Consulta_di_Lione



Antonio Maria Lorgna

L'Accademia delle Scienze, detta dei XL

di

Pasquale Fetto

pasquale.fetto@didichim.org

L'embrione della futura Accademia scientifica italiana era presente nella mente di Antonio Maria Lorgna (1735 – 1796), già dal 1766 egli iniziò i contatti con vari scienziati italiani al fine di coagulare attorno a questa idea il maggior numero possibile di intellettuali. Il collante, che si rivelò essenziale era l'idea di poter avere l'Italia Unita e con essa una scienza italiana. Negli anni successivi in una lettera al suo amico, il matematico Malfatti, tra l'altro accenna a: “una Società di uomini letterati, ciascuno dei quali assuma l’incombenza di scrivere almeno in due anni una dissertazione che venga inserita in un tomo da stampare col titolo Atti liberi d’Italia», il suo scopo era quello “di formare di tutti i Letterati italiani un’Accademia”. Il programma della futura Società è racchiuso in queste frasi e la sua portata politica e patriottica è chiara quando dice: “tutti i Letterati italiani”.

Nel 1781 lancia l'invito a tutti gli scienziati suoi contemporanei di unirsi a lui; gli interpellati risposero con entusiasmo e tra essi ricordiamo: Alessandro Volta, Lazzaro Spallanzani, Joseph-Louis Lagrange, Ruggero Boscovich.

Nel 1782 Lorgna fondava solennemente l'Accademia alla quale fu dato il nome “**Società Italiana**”. A far parte di questa Società furono chiamati i quaranta più illustri scienziati di ogni parte d'Italia. Dal numero dei componenti la Società sin dall'inizio fu detta “**la Società dei XL**”. Dopo la morte di Lorgna la società cambiò il nome divenendo “**Società Italiana delle Scienze, detta dei XL**”.

La prima sede dell'Accademia fu Verona, successivamente, per volere di Napoleone, fu trasferita a Milano (Verona sarebbe passata sotto il dominio austriaco dopo il trattato di Campoformio) e quindi a Modena.

Con la costituzione del Regno d'Italia e la proclamazione di Roma capitale l'Accademia fu trasferita da Modena a Roma assumendo il nome di “**Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL**”.

Desidero concludere queste considerazioni con il corsivo seguente tratto dalla prefazione al volume “Scienziati italiani e Unità d’Italia. Storia dell’Accademia Nazionale dei XL” di Giuseppe Penso, uno dei XL – Bardi editore, Roma, 1978.

“Il sorgere di un’Accademia scientifica non è soltanto un fatto culturale, ma può anche essere un fatto politico se quell’Accademia, con la propria creazione, vuole inserirsi in un contesto politico ben preciso e divenire una interprete attiva.

Il pensiero scientifico non può mai essere disgiunto dal pensiero politico: la scienza – molto spesso, più spesso di quanto non si creda – ha costituito e costituisce il motore dell’evoluzione politica del genere umano. Il benessere dei popoli e la potenza degli Stati sono la conseguenza del loro raggiunto livello scientifico; i popoli diseredati, poveri e spesso affamati non hanno mai coltivato le Scienze, non hanno una storia scientifica dietro a loro.

E qui è bene rilevare che, sebbene il pensiero scientifico non ammetta frontiere, gli Scienziati che lo esercitano appartengono a un Popolo, a una Nazione al cui sviluppo essi contribuiscono provocando direttamente o indirettamente reazioni politiche di notevole rilievo anche se non sempre chiaramente palesi.

E ciò è avvenuto nei riguardi della gloriosa epopea del nostro Risorgimento che miracolosamente condusse – dopo secoli di servaggio - realizzare il mito dell’Unità d’Italia gemmato nello spirito degli scienziati italiani del Settecento che unificarono il loro pensiero e il loro sforzo scientifico, dimostrando al Mondo come l’Italia non fosse soltanto una mera espressione geografica, ma una entità nazionale attiva e pensante.

La creazione, nel 1782, della “Società Italiana” – la futura “Accademia Nazionale dei XL” – concretava questo spirito unitario degli scienziati italiani e realizzava un’idea che, per quei tempi, poteva sembrare utopistica e fuori della storia: quella di riunire i “Quaranta” più distinti cultori di scienze fisiche e naturali dell’intera Italia – al di fuori e al di sopra delle arbitrarie frontiere che spezzettavano allora la nostra Penisola – in un’unica “Società Italiana” che rappresentasse – almeno nelle Scienze – l’Italia unita.

Precorrevano così, gli Scienziati italiani, le idee successive di Poeti e Pensatori che, per il mito dell’Unità d’Italia, dovevano più tardi appuntire le loro penne e scagliare le loro frecce.”

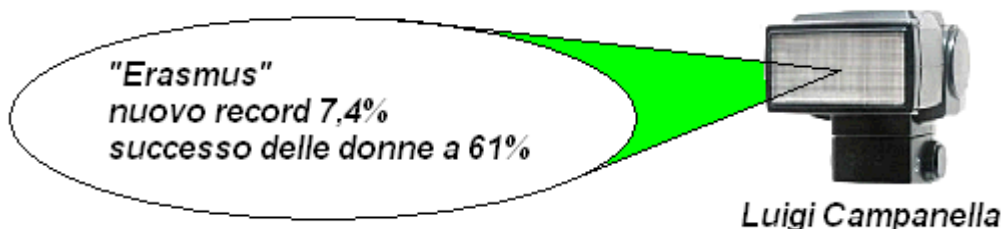
Le Memorie della Società costituiscono da due secoli l’archivio della più alta produzione scientifica italiana. Tra Soci dell’Accademia ricordiamo i più grandi cultori della Scienza italiana: Volta, Marconi, Spallanzani, Golgi, Pacinotti, Fermi, Avogadro, Natta, Ruffini, Severi, Cotugno, Castellani e Amaldi; tra essi i Premi Nobel: Marconi, Golgi, Fermi, Natta, Bovet, Rubbia e Levi-Montalcini.



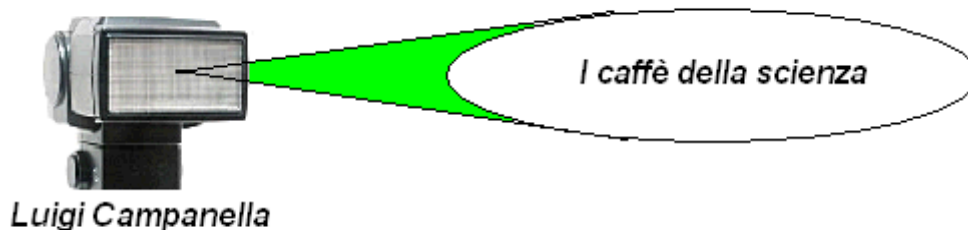
Leonardo di Capua (Bagnoli Irpino AV 1617-1695), medico, letterato e scienziato, rivolse tutta la sua attività a sostenere e rivendicare la libertà del pensiero umano e il metodo sperimentale. Nel **1683** pubblicò “// *Discorso per difesa dell'arte chimica e de' professori di essa...*” rivendicando alla chimica il ruolo essenziale per lo studio della struttura della materia.

Luigi Valentino Brugnatelli (Pavia 1761-1818. Conseguita la laurea in medicina esercitò tale professione per un breve periodo dedicandosi quindi allo studio della chimica. Nel 1796 fu nominato professore di chimica succedendo in tale incarico a Brusati. Come **imprenditore editoriale**, Brugnatelli ebbe un ruolo molto importante nello stimolare le pubblicazioni scientifiche in Italia. A lui si deve, oltre a numerose opere minori, una grande quantità di opere e riviste scientifiche tra cui si ricordano: *Biblioteca fisica d'Europa*, 20 volumi, *Annali di chimica*, 22 volumi, *Giornale fisico-medico*, 20 volumi, *Commentari medici*, *Elementi di chimica appoggiati alle più recenti scoperte chimiche e farmaceutiche* (3 voll.), *Giornale di fisica, chimica e storia naturale*, *Farmacopea ad uso degli speciali e medici moderni della Repubblica italiana*, traduzione dell'opera francese: *Pharmacopée générale*, 2 vol. Scrisse un *Trattato elementare di chimica generale*.

Giuseppe Gazzeri (Firenze 1771 - 1847) nonostante fosse laureato in legge preferì dedicarsi allo studio delle scienze naturali. Nel **1802** lesse all'Accademia dei Georgofili “*Della necessità ed utilità dello studio della chimica, come conducente al perfezionamento delle Arti*”. Ebbe nel 1807 la cattedra di chimica del Liceo di Scienze Fisiche e Naturali di Firenze. Pubblicò nel 1819 il “*Compendio d'un trattato elementare di chimica*”



Più di 213.000 studenti hanno beneficiato di borse “Erasmus” per seguire corsi di studio o di formazione all'estero nell'anno accademico 2009-10: un nuovo record che rappresenta un aumento del 7,4% rispetto all'anno precedente. Erasmus è il programma di scambio universitario più popolare del mondo e sulla base delle tendenze attuali entro il 2012-13 l'UE raggiungerà l'obiettivo di tre milioni di studenti europei che avranno partecipato al programma sin dal suo avvio nel 1987. Le tre destinazioni più popolari per gli studenti nel 2009-10 sono state la Spagna, la Francia e il Regno unito. La Spagna ha inviato il maggior numero di studenti all'estero, seguita dalla Francia e dalla Germania. Nello stesso anno, le donne hanno rappresentato il 61% degli studenti Erasmus. Nel 2009-10 l'UE ha investito 415 milioni di euro in questo programma.



Si diffondono sempre più i caffè scienza per avvicinare la scienza al grande pubblico. Un caffè scienza non è, o meglio non dovrebbe essere, né una conferenza divulgativa, né un dibattito fra esperti, ma un incontro alla pari fra pubblico ed esperti. Ogni partecipante dopo l'introduzione di un tecnico può intervenire. Ad un moderatore il compito di tenere vivo il dibattito.

Gli ingredienti per un buon caffè scienza sono gli argomenti, uno – due esperti ed un moderatore poco invasivi, l'assenza accurata di politici, un luogo pubblico informale, orario adattato al pubblico che si aspetta di vedere, un buon impianto di amplificazione.

In una recente intervista il presidente eletto di Euchems Ulrich Schubert, professore di Chimica Inorganica all'Istituto di Chimica dei Materiali dell'Università di Vienna, ha indicato come prima priorità rappresentare gli interessi di Euchems di fronte alle istituzioni ed autorità europee, nonché alle altre istituzioni internazionali partner. Come seconda priorità ha invece indicato la nascita di una rete di giovani chimici, lo stesso tipo di collegamento che i senior hanno già. La terza priorità è il collegamento continuo fra Euchems e le singole società chimiche che ne fanno parte, molte volte ignare di quello che Euchems fa ed organizza.

Informazioni



Società Chimica Italiana

CnS-La Chimica nella Scuola

ISSN 0392-8942

**Anno XXXIII n. 3
Giugno - Agosto 2011**

Direttore responsabile

Luigi Campanella

Dipartimento di Chimica
Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 ROMA
e-mail: luigi.campanella@uniroma1.it

Redattore

Pasquale Fetto

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Comitato di redazione

Aldo Borsese, Luigi Campanella, Liberato Cardellini, Marco Ciardi, Valentina Domenici, Pasquale Fetto, Silvano Fuso, Fabio Olmi, Pierluigi Riani, Silvia Ripoli, Gianmarco Ieluzzi, Giovanni Villani.

Comitato Scientifico

Aldo Borsese, Luigi Campanella, Luigi Cerruti, Rinaldo Cervellati, Giacomo Costa, Michele Antonio Floriano (*Presidente della Divisione di Didattica*), Ezio Roletto, Giuseppe Valitutti, Richard Zare.

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

Italia € 48,00 - Paesi comunitari € 58,00
Fascicoli separati Italia € 12,00
Fascicoli separati Paesi extracomunitari € 15,00

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 Roma

Ufficio Abbonamenti

Manuela Mostacci

SCI, Viale Liegi, 48/c - 00198 - Roma
Tel. 068549691 fax 068548734
e-mail: manuela.mostacci@soc.chim.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 solo se autorizzata dalla Direzione

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

Editing

Pasquale Fetto

pasquale.fetto@didichim.org

Stampa

DE VITTORIA s.r.l.

Via Degli Aurunci, 19 - 00185 ROMA