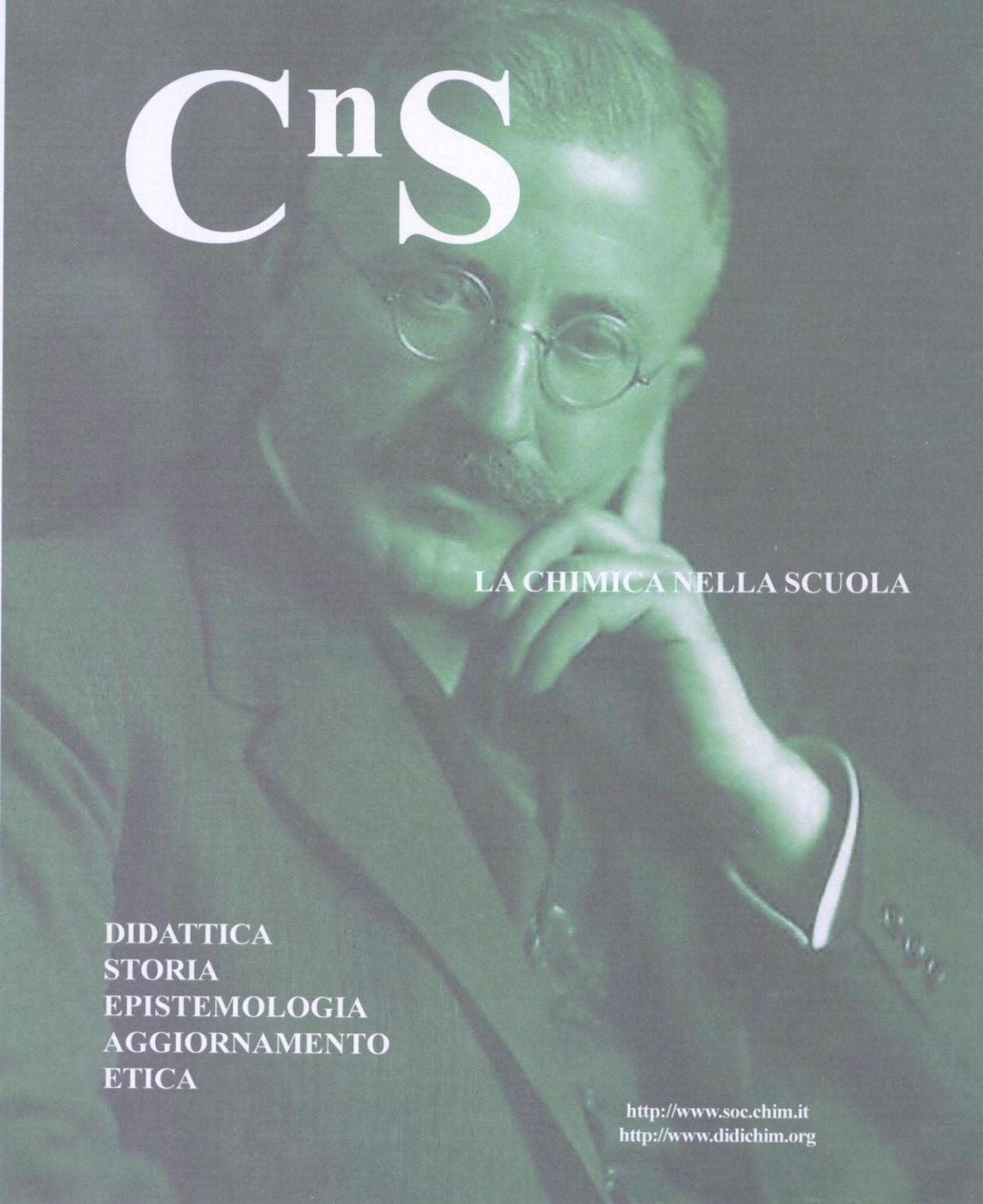


ISSN 0392-5942

Anno XXXII, n. 1, 2010

Giornale di Didattica e Cultura della Società Chimica Italiana

# CnS



LA CHIMICA NELLA SCUOLA

DIDATTICA  
STORIA  
EPISTEMOLOGIA  
AGGIORNAMENTO  
ETICA

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



## LA CHIMICA NELLA SCUOLA

Anno XXXII  
Gennaio - Marzo 2010

Direttore responsabile

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

Past-Editor

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

Redattore

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

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

Periodicità: Trimestrale (4 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

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

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

Ufficio Abbonamenti

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

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

## SOMMARIO

<b>EDITORIALE</b>	<b>1</b>
Nonostante tutto... di <b>Silvano Fuso</b>	
Hermann Staudinger di <b>Gianmarco Ieluzzi</b>	<b>3</b>
Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche di <b>Benedetto Raimondi, Gianfranco La Manna</b>	<b>5</b>
La matematizzazione dei processi chimico-fisici: estrazione con solvente di <b>Francesco Giuliano</b>	<b>15</b>
La multidisciplinarietà come opzione possibile per l'insegnamento delle scienze: l'aggiornamento degli insegnanti di scienze alla luce dell'esperienza di SPAIS di <b>Paola Ambrogio, Michele A. Floriano, Elena Ghibaudi</b>	<b>24</b>
Evoluzione dei sistemi: modelli e rappresentazioni di <b>Ezio Roletto, Alberto Regis, Marco Ghirardi, Cecilia Giordano</b>	<b>31</b>
L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier di <b>F. Marchetti, C. Pettinari, R. Pettinari, C. Di Nicola, A. Cingolani</b>	<b>35</b>
Storia e filosofia dei rifiuti. Parte seconda: Filosofia di <b>Giulia Quadrelli</b>	<b>46</b>

## RUBRICHE

<b>VARIE ED EVENTUALI</b> di <b>Ermanno Niccoli</b>	<b>57</b>
<b>LETTERE ALLA REDAZIONE</b>	<b>61</b>
<b>GIOCHI E OLIMPIADI DELLA CHIMICA</b> Il calendario	<b>62</b>
<b>ERRATA CORRIGE</b>	<b>62</b>
<b>ISTRUZIONI PER GLI AUTORI</b>	<b>63</b>

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

## Nonostante tutto...

Viviamo tempi duri. E non vogliamo riferirci alla crisi economica e ai drammatici problemi che essa crea a numerosi lavoratori e relative famiglie. Vogliamo parlare di un'altra crisi, di cui si parla molto meno, che riguarda la cultura in generale e quella scientifica in particolare. Crisi particolarmente grave nel nostro martoriato paese. Le altre nazioni infatti vanno avanti investendo in formazione, ricerca e sviluppo. L'Italia no: resta al palo.

Senza considerare i paesi dell'Est asiatico i cui incredibili progressi scientifico-tecnologici sono ben conosciuti, due paesi a noi vicini come la Francia e la Germania dovrebbero rappresentare per noi un esempio da seguire.

La Francia ha recentemente stanziato un investimento di 35 miliardi di euro (sotto forma di "grande prestito") per creare una "società della conoscenza", vista come antidoto all'attuale congiuntura economica mondiale. Il governo di Nicolas Sarkozy ha annunciato di voler investire 11 miliardi per l'università e l'alta educazione; 8 miliardi per la ricerca scientifica; 6,5 miliardi per l'industria innovativa; 5 miliardi per lo sviluppo sostenibile; 4,5 miliardi per le tecnologie dell'informazione e della comunicazione. È inoltre significativo che il gruppo di ricercatori, industriali ed economisti che dovrà gestire l'imponente investimento è diretto, in maniera bipartisan da due ex primi ministri appartenenti a schieramenti politici opposti: il conservatore Alain Juppé e il socialista Michel Rocard.

Analogamente la Germania di Angela Merkel ha deciso di investire nell'economia della conoscenza stabilendo: un aumento del 5% annuo, e fino al 2015, dei finanziamenti ai due grandi centri di ricerca statali: il "Max Planck Institut" e il "Deutsche Forschungsgemeinschaft" (Fondazione Tedesca per la Ricerca); un finanziamento nuovo e aggiuntivo di 7,7 miliardi di euro per le università, dal 2011 al 2015 (di cui 5 miliardi per lo sviluppo generale e 2,7 miliardi dedicati all'«Iniziativa per l'Eccellenza»); e infine 14,6 miliardi di euro per lo sviluppo dell'alta tecnologia in settori considerati strategici: energia, clima, salute e sicurezza. Anche in Germania contano poco le ideologie e si dà invece molta rilevanza ai fatti concreti. Prova ne è che il programma di investimenti economici in conoscenza proposto dall'attuale governo di centro-destra ha ripreso tale e quale quello del precedente governo di centro-sinistra, sia pure presieduto dalla stessa Merkel.

E in Italia? Maggioranza e opposizione non cessano di insultarsi a vicenda trascurando i veri problemi del paese. Solo su una questione centro-destra e centro-sinistra appaiono d'accordo: considerare di fatto (e al di là degli slogan propagandistici) formazione, cultura e ricerca non un investimento, ma una spesa da tagliare per far quadrare, in modo inevitabilmente provvisorio e fittizio, i conti dello Stato. Il *2010 Global R&D Forecast*, rapporto annuale pubblicato dalla rivista *R&D Magazine*, conferma purtroppo questa affermazione. Gli investimenti in Ricerca e Sviluppo dell'Italia nel 2009 sono diminuiti di ben 994 milioni di dollari rispetto al 2008 con un taglio di oltre il 5%. La percentuale del PIL destinata a R&S non va oltre l'1,08%, facendo sì che il nostro paese investa oltre un terzo in meno della media europea e quasi la metà in meno della media mondiale.

E i pochi soldi investiti vengono spesi malamente. Alcuni recenti episodi lo confermano.

Ha destato, ad esempio, non poca indignazione negli ambienti culturali, ma con ben poche ricadute sull'opinione pubblica, una notizia che, nella sua absurdità, è quasi grottesca. Il "cinepanettone" natalizio di Neri Parenti *Natale a Beverly Hills* (la cui comicità pecoreccia è facilmente immaginabile, anche senza averlo visto) è stato inserito nella lista dei film di interesse culturale e ha pertanto beneficiato di un contributo pubblico di 1,5 milioni di euro da parte del Ministero dei Beni Culturali! Ben poco convincenti sono state le giustificazioni del ministro.

Il vicepresidente del CNR (sì, proprio il Consiglio Nazionale delle Ricerche!), prof. Roberto De Mattei, ha invece pensato bene di organizzare, nell'anno in cui tutto il mondo ha celebrato la grandezza di Charles Darwin, un convegno dal titolo "Evoluzionismo: il tramonto di un'ipotesi". Nelle dotte relazioni che hanno caratterizzato il convegno si è sostenuto che l'evoluzionismo non è scienza, ma "una fanta-

siosa storia”; che la Terra è più giovane di quanto normalmente si ritenga e che quindi il tempo è stato insufficiente per l’evoluzione delle specie come sostengono gli evoluzionisti; che il Grand Canyon si è formato, nel corso di un solo anno, in conseguenza del diluvio universale e ...tante altre perle di saggezza dello stesso tono. Gli atti del Convegno sono poi stati pubblicati sotto forma di libro con un finanziamento di 9840 euro da parte dall’Ufficio pubblicazioni e informazioni scientifiche del CNR. L’iniziativa di De Mattei ha ovviamente suscitato reazioni indignate da parte della comunità scientifica nazionale e internazionale. Persino la prestigiosa rivista *Science* si è occupata del “problema Italia”.

Lasciando cinema e biologia e parlando di chimica, diversi nostri parlamentari di vari schieramenti, preoccupati della tutela della salute pubblica, hanno pensato bene di presentare interrogazioni e interpellanze parlamentari sul ...gravissimo problema delle “scie chimiche” o “chemtrails”, di cui magari varrà la pena occuparsi in dettaglio in un prossimo articolo di *CnS* (per chi non le conoscesse e volesse rendersi conto dei “gravi rischi” che esse rappresentano per l’umanità, è sufficiente una breve ricerca su qualsiasi motore di ricerca in Internet e, mi raccomando, ...controllate le risate!). Altri parlamentari, da tempo, si battono invece per inserire nel sistema sanitario nazionale pseudo-medicine di efficacia mai dimostrata e i cui fondamenti fanno a pugni con i più elementari principi chimico-fisici.

Il *cahier de doléances* relativo alla situazione in cui versa la gestione della cultura, della ricerca e della formazione da parte della politica in Italia potrebbe continuare, ma non vogliamo deprimere i nostri lettori. Vogliamo far buon viso a cattiva sorte e, possibilmente, trasmettere alcuni motivi di ottimismo. Ce ne sono? Sì, per fortuna non mancano e soprattutto vorremmo sottolinearne uno che ci riguarda da vicino: la resistenza e l’abnegazione degli insegnanti.

Nonostante riforme e controriforme incipienti, tagli e controtagli al finanziamento delle scuole, burocrazie incombenti, studenti comprensibilmente distratti dai modelli che la società propone e genitori agguerriti supportati da avvocati d’assalto e senza scrupoli, gli insegnanti resistono. Ogni mattina entrano in aula e proseguono il loro compito: difendere e trasmettere la conoscenza in una società in cui questa parola è sempre meno apprezzata. La mia non vuole essere una difesa corporativa o una *captatio benevolentiae* nei confronti dei numerosi colleghi che leggono questa rivista. È una constatazione, derivante da oltre vent’anni di lavoro nella scuola e dall’esperienza, sia pur molto più breve, di appartenenza al comitato di redazione di questa rivista.

Nonostante quel che si dica, gli insegnanti, benché continuamente umiliati, sono vivi, attivi, responsabili, interessati al compito che devono svolgere e consapevoli della sua importanza. E fanno molto di più di quello che sarebbero tenuti a fare dal mero punto di vista contrattuale. Moltissimi insegnanti, ad esempio, seguono faticosi corsi di aggiornamento, seminari e convegni senza che questo comporti loro il minimo tornaconto, né economico né di progressione in carriera, ma, al contrario, accollandosi spesso non trascurabili spese di tasca propria e sgradevoli disagi logistici. Molti insegnanti scrivono articoli per comunicare ai colleghi le proprie esperienze e le proprie proposte didattiche e quelli che arrivano alla nostra redazione ne sono un esempio significativo. Si tratta di lavori di qualità scritti con impegno, che comportano una grossa fatica e un grande dispendio di tempo e di energia. Anche tutto ciò in modo completamente gratuito e senza riconoscimenti di alcun tipo. Perché lo fanno, se non per amore della cultura e della conoscenza, cercando di trasmettere entrambe alle nuove generazioni con il forse un po’ utopistico desiderio di contribuire a creare una società migliore?

Quindi, al di là di riforme (o presunte tali) più o meno ragionieristiche è sugli insegnanti che bisognerebbe puntare per migliorare la qualità della scuola. In attesa che anche i nostri politici lo capiscano, ben vengano quindi le numerose iniziative della Divisione Didattica della SCI finalizzate ad aiutare i docenti nel loro difficile compito. Difendere e valorizzare l’insegnamento della chimica è quanto mai urgente. Nel dilagante e preoccupante analfabetismo scientifico che caratterizza il nostro paese quello chimico è particolarmente evidente. Nei media, nelle pubblicità e nei discorsi dei politici gli strafalcioni di natura chimica ormai non si contano più, dimostrando quanto poco diffusa sia la cultura chimica.

Uniamo quindi le forze, collaboriamo e soprattutto non demoralizziamoci e teniamo duro.  
Buon lavoro a tutti!

## Hermann Staudinger

(Worms 1881 – Friburgo 1965)

**Gianmarco Ieluzzi**

gianmarco.ieluzzi@unito.it



Hermann Staudinger legò inescindibilmente il suo nome all'affermarsi di una contrastata specializzazione chimica, la chimica macromolecolare. Egli crebbe e si formò a Worms, dove iniziò i suoi studi universitari nel 1899 per proseguirli nelle Università di Halle, di Darmstadt e di Monaco. Si laureò nel 1903 presso Halle e ma continuò a spostarsi, divenendo assistente di Thiele presso l'Univerità di Strasbourg. Acquistò presto un prestigio internazionale a seguito della scoperta dei cheteni avvenuta nel 1905, sicché nel 1907 venne nominato professore di chimica organica a Karlsruhe. A partire dal 1912 sarà per quattordici anni professore presso la Eidgenössische Technische Hochschule di Zurich succedendo a R. Willstätter che era stato chiamato a lavorare presso il neonato Kaiser-Willhelm-Institut di Berlino. In questi anni iniziò a studiare la strutture di sostanze naturali come il caucciù e la cellulosa, sostanze importantissime ma che i chimici annoveravano tra quelle che componevano la Schemirenchemie, la «chimica sporca». Queste sostanze sporche erano intese all'interno della teoria micellare, secondo la quale la permanenza di valenze residue sulle molecole semplici implicava la formazione di agglomerati micellari che esibivano proprietà colloidali. Va detto che Staudinger era di profonde convinzioni strutturaliste, cioè riteneva che la teoria della struttura, molto usata in chimica inorganica, e che lui chiamava «di Kekulé», fosse un potente strumento esplicativo. All'interno del suo programma di ricerca ottenne un importante successo sperimentale con la completa idrogenazione del caucciù. Questo risultato fu in evidente contrasto con la teoria delle valenze parziali allora molto accreditata, poiché il caucciù totalmente idrogenato non presentava più doppi legami, come le reazioni tipiche della chimica organica confermavano. Pur tuttavia le caratteristiche colloidali continuavano a manifestarsi. L'articolo con cui presentò i suoi risultati, pubblicato sugli Helvetica Chemica Acta, registra per la prima volta l'uso della parola Makromolekel, che compare una sola volta e virgolettata. Due anni dopo, nel 1924, usa il medesimo termine con più sicurezza. La sue teorie non trovarono credito presso il mondo scientifico che respinse con vigore e a più riprese il lavoro di Staudinger. Ciò stante, il prestigio accademico di Staudinger non conobbe battute di arresto: nel 1926 venne chiamato a ricoprire la celebre cattedra di Friburgo fino ad allora tenuta da Heinrich Wieland. Una posizione prestigiosa che però non gli risparmiò attacchi e contrasti da una buona parte del mondo scientifico, in particolare da parte di Bergmann, Meyer e Mark. Bergmann, assistente di Emil Fischer, dirigeva in quegli anni il Kaiser-Wilhelm-Institut für Lederforschung a Dresda, e fu con Mark furono coautore di una teoria neomicellare di breve durata. Al Congresso della Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte a Düsseldorf si venne a creare uno scontro, rimasto memorabile, tra Staudinger, che era praticamente isolato, propugnatore della sua teoria, e il resto dei congressisti. In quella sede Staudinger propose una relazione dal titolo dichiaratamente eloquente: «La chimica delle sostanze alto molecolari secondo la teoria strutturale di Kekulé» in cui chiaramente afferma che la sua investigazione non riguarda solamente composti naturali, ma anche di

## Dalla copertina

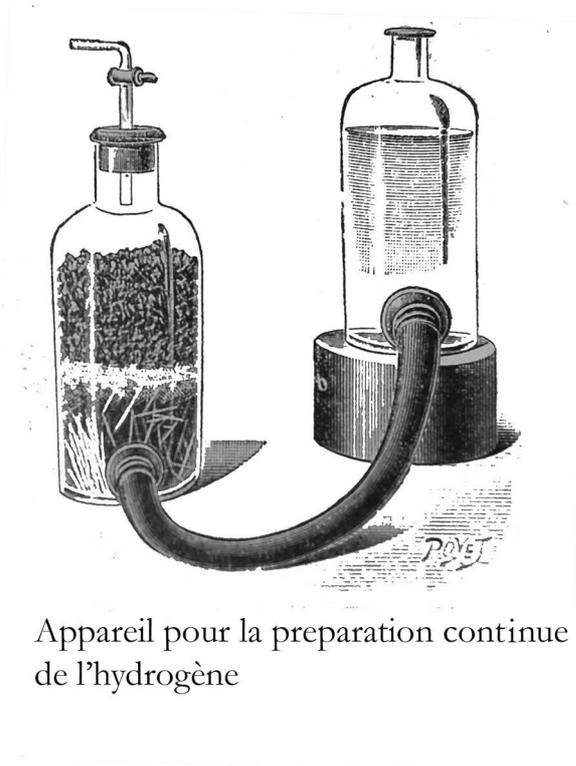
sintesi e inoltre sottolinea fortemente come moltissime molecole siano collegate mediante valenze normali. Le molecole in oggetto, poiché organiche, devono essere omopolari ma di dimensioni molto grandi (macromolecole). Staudinger era sì isolato, ma riceveva imponenti finanziamenti dalle principali industrie chimiche tedesche; questo contesto fu una concausa della sua vittoria nella diatriba chimica in campo macromolecolare, grazie alla produzione di massa della Buna S. Nel 1932 infine la pubblicazione di una raccolta collettanea, dal titolo *Die Hochmolekularen organischen Verbindungen*, consente a Staudinger e alla sua scuola di diffondere in modo capillare e rigoroso il loro approccio conoscitivo nel campo della chimica organica. Nel 1953 ricevette il Premio Nobel "for his discoveries in the field of macromolecular chemistry".

### Bibliografia

L. Cerruti, *Bella e Potente*, Torino: Editori Riuniti, 2003.

Giuseppe Veronese (a cura di Gillispie), *Dictionary of Scientific Biography, Vol XIII: Hermann Staudinger*, New York, NY (USA): Scribner, 13 - 623 p.

[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1953/staudinger-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1953/staudinger-lecture.pdf)



Appareil pour la preparation continue  
de l'hydrogène

# Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

**Benedetto Raimondi\*, Gianfranco La Manna\*\***

\*I. I. S. "Majorana", Via G. Astorino 56, 90146 Palermo.

benedetto.raimondi1@virgilio.it

\*\*Dipartimento di Chimica Fisica "Filippo Accascina" – Università di Palermo

Viale delle Scienze, Parco D'Orleans II, 90128 Palermo

lamanna@ccc.unipa.it

## Riassunto

*In questo lavoro, si discute dell'esecuzione della decomposizione termica del carbonato basico di rame e del bicarbonato di sodio. Queste esperienze, eseguibili da studenti di 13-14 anni che frequentano il primo anno di un istituto tecnico o di un liceo scientifico-tecnologico, danno risultati riproducibili e contribuiscono a sviluppare importanti momenti di apprendimento. Grazie ad esse, si possono approfondire alcune conoscenze sulle reazioni chimiche che vanno oltre la legge di conservazione della massa; inoltre l'esame critico dei risultati qualitativi e quantitativi delle esperienze svolte agevola la correzione di una concezione errata molto frequente tra gli studenti: le reazioni chimiche debbono essere sempre accompagnate da effetti visibili. Particolare cura, infine, viene data all'uso di materiali che, dopo la loro manipolazione, producono sostanze riciclabili o il cui smaltimento non è particolarmente oneroso.*

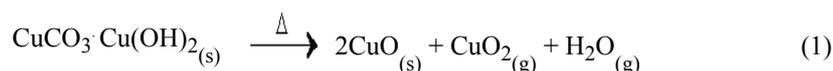
## Abstract

*This paper reports the thermal decomposition of basic copper carbonate and sodium hydrogen carbonate to be carried out by first-year students of a technical institute or a lyceum. These experiments provide reproducible results and are useful for developing important steps of the learning process. Through these experiments, some knowledges on chemical reactions can be deepened, beyond the mass conservation law; moreover, the critical examination of the qualitative and quantitative results allows for correcting a wrong hypothesis, which is very common by the students, that is chemical reactions have to be joined to visible effects. Finally, a particular attention is given to the use of materials which, after their manipulation, give rise to recyclable products or to products suitable to easy disposal.*

## Introduzione

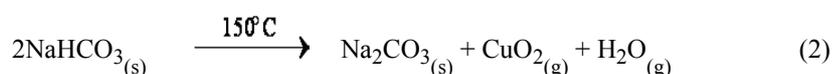
La chimica non è una disciplina intuitiva e molte reazioni chimiche hanno un carattere elusivo in quanto reagenti o prodotti sono in molti casi gas incolori e quindi sfuggono ad una osservazione diretta[1]. Lo studio della chimica, in particolare all'età di 13-14 anni, risulta difficile per varie ragioni. Una ragione consiste nel fatto che il suo studio obbliga gli studenti a correggere le proprie conoscenze spontanee con quelle formalizzate, rigorose e strutturate, proprie di questa disciplina. Dall'incontro tra le conoscenze spontanee e l'impostazione scientifica deriva quasi sempre un conflitto che, se ben gestito, agevola l'apprendimento da parte degli allievi. Un esempio di conflitto tra i due tipi di conoscenza deriva dall'associazione quasi automatica di ogni reazione chimica a fenomeni come variazioni cromatiche, sviluppo di gas, effetti sonori notevoli. Ad esempio, molti studenti dei primi anni della scuola media superiore, limitandosi all'ingenua osservazione visiva, credono che, ogni volta che si riscalda un campione solido di materia, se questo rimane solido e non cambia colore, non è avvenuta nessuna trasformazione o, al massimo, se la massa del residuo risulta minore di quella iniziale, potrebbe essere avvenuto un passaggio di stato.

La decomposizione termica del carbonato basico di rame,  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , rappresentata dalla seguente equazione chimica:



è accompagnata da variazioni cromatiche evidenti perché il carbonato basico di rame,  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , unico reagente della (1), è un solido verde. L'ossido di rame,  $\text{CuO}$ , unico prodotto solido della (1), è invece nero.

Un fenomeno di tipo apparentemente più difficile da interpretare è, invece, la decomposizione termica del bicarbonato di sodio,  $\text{NaHCO}_3$ , a 150 °C:



## Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

La (2) non è accompagnata da variazioni cromatiche. Il bicarbonato di sodio, unico reagente della (2), è un solido bianco come l'unico prodotto solido, il carbonato di sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . In entrambe le reazioni, oltre ad un unico prodotto solido, si formano acqua,  $\text{H}_2\text{O}$ , e anidride carbonica,  $\text{CO}_2$ ; questi ultimi due prodotti sono aeriformi, incolori ed inodori. La (1) e la (2), condotte in un sistema aperto, sono reazioni quantitative nelle quali la massa dell'unico prodotto solido ottenuto è, per la legge di Lavoisier, minore di quella dell'unico reagente, anch'esso solido. Questo fatto è importante e tutt'altro che ovvio e il docente deve sottolinearlo facendo riferimento a questa legge.

Un altro aspetto, che va oltre i vincoli ponderali della legge di Lavoisier e deve essere sottolineato, è il seguente: in entrambe le reazioni, la massa del prodotto solido è direttamente proporzionale a quella del solido sottoposto a riscaldamento ed il valore del rapporto di proporzionalità dipende dalle sostanze coinvolte. Tale proporzionalità vale anche tra le masse di qualsiasi altra coppia di sostanze ma verificarla considerando, ad esempio, la massa dell'acqua o dell'anidride carbonica sarebbe più complesso perché queste due sostanze sono, nelle condizioni di reazione, aeriformi e la loro separazione sarebbe abbastanza laboriosa.

Non è sorprendente che gli studenti, non osservando alcun cambiamento di colore riscaldando il bicarbonato di sodio, concludano ingenuamente che non è successo nulla. Nel caso della (2), i processi cognitivi che portano i discenti alla conclusione ingenua sono guidati, principalmente, dalla percezione visiva, che non segnala una variazione cromatica. Può anche accadere che un'ingenua applicazione della legge di Lavoisier, che richiede il confronto tra massa del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  prodotto e quella corrispondente di  $\text{NaHCO}_3$ , porti alcuni allievi alla conclusione che un poco di quest'ultimo sia sublimato. Nel caso della (1), invece, l'evidente cambiamento di colore contrasta poco con le conoscenze spontanee dei discenti che concludono, con minore sforzo cognitivo, che è avvenuta una reazione chimica.

Per queste ragioni, il docente deve fare eseguire, sperimentalmente, alla classe le reazioni (1) e (2) e verificare che entrambe avvengono con produzione d'acqua e anidride carbonica aeriformi. Conclusa la fase sperimentale e l'elaborazione dei dati, la classe, sotto la guida del docente, dovrà discutere i risultati rilevando le similitudini nei due casi:

- diminuzione della massa del solido prodotto rispetto a quella del solido prima della reazione;
- costanza del rapporto tra le due precedenti grandezze;
- produzione, insieme all'unico prodotto solido, di acqua e anidride carbonica aeriformi, che in sistemi aperti giustifica la diminuzione della massa del solido ottenuto rispetto a quella iniziale.

La costanza del rapporto tra massa del solido prodotto e quella del reagente, verificata sperimentalmente, fa emergere un'ulteriore peculiarità delle reazioni chimiche che si sovrappone alla legge di Lavoisier ed è un approfondimento significativo delle conoscenze degli studenti. Enfatizzare questo aspetto, inoltre, stimola ed aiuta i discenti a rivedere le proprie convinzioni, evidentemente errate, riguardo alla presunta generale visibilità delle reazioni chimiche. Se dovesse accadere che qualche allievo affermasse la presunta sublimazione del  $\text{NaHCO}_3$  a  $150^\circ\text{C}$ , il docente potrebbe invitare la classe, o l'allievo, a continuare a riscaldare il residuo e ripesarlo dopo raffreddamento. Le tabelle 1 e 2 riportano, a titolo esemplificativo, dati ottenuti da alcuni alunni che hanno lavorato, rispettivamente, alle (1) e (2) facendo le pesate con una bilancia analitica.

**Tabella 1.** Dati relativi al  $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$  (tutte le masse sono espresse in grammi).

Numero del team	$m_t$ (g)	$m'$ (g)	$m_1$ (g)	$m''$ (g)	$m_2$ (g)	$m_2/m_1$
1	54,4624	55,7172	1,2548	55,3637	0,9013	0,7183
2	54,5991	55,6497	1,0506	55,3530	0,7539	0,7176
3	55,0938	56,3636	1,2698	56,0124	0,9186	0,7234
4	56,7982	57,9328	1,1346	57,6362	0,8380	0,7386
errore assoluto su $m_2/m_1$						0,01
valore medio di $m_2/m_1$						0,72
errore relativo % su $m_2/m_1$						1,4

$m_t$ : massa della sola capsula.

$m'$ : massa della capsula contenente  $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

$m_1$ : massa del  $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

$m''$ : massa della capsula contenente  $\text{CuO}$ .

$m_2$ : massa del  $\text{CuO}$ .

$m_2/m_1$ : rapporto tra massa del  $\text{CuO}$  formato nel corso della (1) e massa del  $\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

**Tabella 2.** Dati relativi al  $\text{NaHCO}_3$  (tutte le masse sono espresse in grammi).

Numero del team	$m_t$ (g)	$m'$ (g)	$m_3$ (g)	$m''$ (g)	$m_4$ (g)	$m_4/m_3$
1	54,4624	55,8353	1,3729	55,3637	0,8663	0,6310
2	54,5991	55,5997	1,0006	55,3530	0,6354	0,6350
3	55,0938	56,5112	1,4174	56,0124	0,9186	0,6481
4	56,7982	58,1967	1,3985	57,6362	0,8380	0,5992
errore assoluto su $m_4/m_3$						0,02
valore medio di $m_4/m_3$						0,63
errore relativo % su $m_4/m_3$						3,9

$m_t$ : massa della sola capsula.

$m'$ : massa della capsula contenente  $\text{NaHCO}_3$ .

$m_3$ : massa del  $\text{NaHCO}_3$ .

$m''$ : massa della capsula contenente  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

$m_4$ : massa del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

$m_4/m_3$ : rapporto tra massa del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  formato nel corso della (2) e massa del  $\text{NaHCO}_3$ .

I prodotti solidi della (1) e della (2) possono essere conservati in appositi contenitori, etichettati adeguatamente ed utilizzati per svolgere ulteriori esperienze[2]. La (1), ad esempio, è utilizzabile per determinare la quantità di rame contenuto nel carbonato basico di rame[3].

Ogni studente dovrebbe lavorare, preferibilmente, da solo. In alternativa, la classe può essere divisa in piccoli gruppi di non più di tre o quattro allievi. Il docente deve assegnare ad ogni studente, o gruppo, un numero o un nome identificativo univoco e deve predisporre una tabella come quelle riportate sopra.

Nel seguito del lavoro si discute in dettaglio delle metodologie, delle strategie, della scansione temporale delle esperienze, dei tempi di esecuzione, di eventuali approfondimenti.

### Discussione

Per svolgere bene le attività descritte sopra, gli allievi debbono avere conseguito le seguenti competenze e conoscenze:

- identificare e distinguere i passaggi di stato;
- applicare concretamente la legge di conservazione della massa;
- identificare e distinguere senza equivoco tra sistemi aperti e chiusi;
- usare la bilancia;
- effettuare una pesata col metodo della tara;
- distinguere tra la definizione di errore assoluto e quella di errore relativo;
- calcolare l'errore assoluto e quello relativo;
- arrotondare i risultati dei calcoli svolti usando il numero corretto di cifre decimali o significative.

Tenuto conto dei prerequisiti, il gruppo di esperienze ed osservazioni di cui si discute può essere svolto, approssimativamente, 3 mesi dopo l'inizio dell'anno scolastico o nella seconda parte del primo quadrimestre.

Se si lavora con le sole bilance tecniche, è opportuno che le masse impiegate siano tali da effettuare calcoli con almeno tre cifre significative. Lavorando con masse di  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  o di  $\text{NaHCO}_3$  prossime ad 1,60 g, la massa teorica del solido residuo ha ancora tre cifre significative. Se, invece, si hanno a disposizione bilance analitiche, è sufficiente che le masse impiegate siano prossime ad 1 g: in tal caso le masse del reagente e del prodotto solidi hanno almeno quattro cifre significative.

Lavorando con le masse vicine ai valori suggeriti, dopo circa 40 minuti di riscaldamento tramite fiamma Bunsen o piastra elettrica, la decomposizione termica del  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  è completa e, nei limiti degli errori sperimentali, la massa del  $\text{CuO}$  prodotto è costante. Riguardo la (2), se si riscalda  $\text{NaHCO}_3$  a  $150^\circ\text{C}$  per circa 45 minuti, la massa del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  prodotto è praticamente costante. Masse maggiori di 2 g determinerebbero in ciascun caso tempi di riscaldamento più lunghi di quelli su indicati. I valori indicati sono, ovviamente, consigliati e derivano da un compromesso tra accuratezza dei risultati e tempi di esecuzione del lavoro contenuti.

## Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

È bene che gli allievi eseguano personalmente le reazioni di decomposizione termica e che non vengano mostrate loro le equazioni chimiche (1) o (2). Questa considerazione deriva dalla necessità di non appesantire inutilmente l'esame dei fenomeni: i discenti sarebbero costretti ad uno sforzo cognitivo, in questa fase del curriculum, inutile ed inopportuno. Inoltre, le equazioni chimiche sono oggetto di altre unità di apprendimento (U.A.).

La decomposizione termica del  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$  dovrebbe essere svolta prima di quella del  $\text{NaHCO}_3$ . La ragione dipende dal fatto che nel primo caso gli allievi dispongono di un'osservazione visiva, il cambiamento di colore, che li agevola nella comprensione del fenomeno. Appena la classe inizierà a lavorare alla decomposizione del  $\text{NaHCO}_3$ , il docente dovrà attirare l'attenzione degli allievi sul fatto che questo fenomeno, a dispetto della mancata variazione cromatica, somiglia molto alla decomposizione precedente perché, anche in questo caso, il residuo pesa meno del solido iniziale e, come nell'esperienza precedente, si sviluppano vapore acqueo e anidride carbonica. Il docente deve anche invitare gli studenti ad affidarsi più alla bilancia che ai propri sensi. Essa non "vede" cambiamenti o permanenze di colore. La bilancia, più obiettivamente, "percepisce" solo permanenze o variazioni di massa che in questo contesto sono cruciali. Sotto questo punto di vista, l'uso della bilancia, sovrapposto all'esame dei dati che essa comunica, aiuta a correggere concezioni errate fondate sull'osservazione "ingenua" e solo su informazioni sensoriali.

È importante trattare bene anche gli aspetti relativi agli aeriformi. Dato che le reazioni descritte dalla (1) e (2) avvengono con produzione di vapore acqueo e anidride carbonica, riscaldando ciascun reagente sul solo fondo di una provetta, il vapore acqueo prodotto condenserà sulla parte superiore del tubo da saggio, più fredda del fondo. La condensazione del vapore acqueo è ben evidenziata dall'appannamento delle pareti fredde della provetta. Lo sviluppo di anidride carbonica, invece, è verificabile lasciando gorgogliare gli aeriformi prodotti nel corso delle decomposizioni (1) o (2) in una soluzione di  $\text{Ba(OH)}_2$  1M o di  $\text{Ca(OH)}_2$  1M. Se nella soluzione gorgoglia anidride carbonica, essa reagisce con  $\text{Ba(OH)}_2$  o  $\text{Ca(OH)}_2$  secondo le:



Le reazioni corrispondenti alle (3) e (4) sono manifestate dall'intorbidimento del liquido, conseguenza della precipitazione, rispettivamente, del carbonato di bario,  $\text{BaCO}_3$ , o del carbonato di calcio,  $\text{CaCO}_3$ . Il docente deve stimolare la classe a discutere delle osservazioni relative alla formazione di acqua e anidride carbonica. Per gli stessi motivi citati prima, è bene che il docente non mostri agli allievi le: (3) e (4).

Il tempo del riscaldamento è un tempo morto. Esso può essere utilizzato per fare montare agli allievi l'apparecchiatura per verificare la produzione d'acqua e anidride carbonica. Il docente, inoltre:

- potrà discutere con gli allievi, facendo sempre riferimento alla legge di Lavoisier, stimolandoli a formulare ipotesi sul confronto tra masse del residuo e del reagente prima che la decomposizione termica sia conclusa;
- potrà, se necessario, aiutare gli studenti ad ordinare o correggere gli appunti presi;
- potrà verificare se gli allievi svolgono correttamente i calcoli.

Man mano che vengono determinati i valori di  $m_1$ ,  $m_2$ , e del rapporto  $m_2/m_1$ , il docente deve richiamare l'attenzione sul fatto che, per la legge di Lavoisier,  $m_2$  è minore di  $m_1$  ed, inoltre, che il loro rapporto è riproducibile. Analogamente per  $m_3$ ,  $m_4$  ed  $m_4/m_3$ . Si trascuri, al momento, l'eventualità di errori casuali tali da compromettere la riproducibilità dei suddetti rapporti. Il tempo occorrente affinché una classe di 24 allievi, suddivisa in gruppi di tre, svolga ciascuna decomposizione, verifichi la produzione di acqua e anidride carbonica, ordini gli appunti presi sotto la guida del docente, è di circa 2 ore. Per discutere, invece, delle somiglianze qualitative e quantitative tra le (1) e (2), in genere è sufficiente un'ora.

Conclusa la determinazione dei dati ponderali relativi alla (1), il docente farà calcolare agli allievi il valore medio di  $m_2/m_1$  e la stima dell'errore assoluto "e", applicando l'espressione semplificata:

$$\text{errore su } m_2/m_1 = e = \frac{\text{massimo valore di } m_2/m_1 - \text{minimo valore di } m_2/m_1}{2} \quad (5)$$

Quindi, indicando con  $\overline{m_2/m_1}$  il valore medio di tale rapporto, la migliore stima ( $m_2/m_1_{\text{best}}$ ) di  $m_2/m_1$  sarà [4]:

$$m_2/m_1_{\text{best}} = \overline{m_2/m_1} \pm e \quad (6)$$

Dopo avere calcolato  $e$ , la classe calcolerà l'errore relativo percentuale " $e_r\%$ ":

$$e_r\% = 100 \frac{e}{m_2/m_1} \quad (7)$$

Le (5), (6) e (7) sono applicabili anche nel caso del bicarbonato di sodio: basta sostituire  $m_4$  ad  $m_2$  ed  $m_3$  ad  $m_1$ .

Se si tiene conto della propagazione degli errori, dell'età media degli allievi, della loro manualità e della fase iniziale del curriculum, si possono ritenere accettabili valori di  $m_2/m_1$  (o di  $m_4/m_3$ ) che differiscono dai corrispondenti valori teorici fino al 10 %.

Due importanti cause di mancata riproducibilità dei rapporti  $m_2/m_1$  e  $m_4/m_3$  sono: perdita accidentale di solido durante le pesate e distrazione nel misurare le masse. Il docente dovrà sfruttare tali eventualità come ulteriori momenti di crescita della classe, invitando gli allievi a indagare le cause della mancata riproducibilità del valore di tali rapporti. Se le condizioni di lavoro lo permettono (piano occupazione aule, tempo residuo disponibile, etc.), gli allievi in difficoltà potrebbero ripetere, sotto la guida di compagni che hanno ottenuto buoni risultati, la decomposizione termica della sostanza su cui hanno lavorato con insuccesso.

Conclusa l'elaborazione dei dati sulla decomposizione del  $\text{NaHCO}_3$ , il docente dovrà discutere con gli allievi delle somiglianze tra le (1) e (2) riassunte nelle voci a, b e c dell'introduzione.

È accaduto che qualche allievo obiettasse che il riscaldamento del  $\text{NaHCO}_3$  a 150 °C ne provochi la sublimazione. Tale obiezione ha un certo diritto di cittadinanza e la sua correzione va colta come fecondo momento di costruzione delle conoscenze. La verifica sperimentale dello sviluppo di acqua e anidride carbonica aiuta a correggere questa ipotesi errata. Inoltre l'allievo o il gruppo di appartenenza riscalderebbe la propria capsula in stufa per almeno 20 minuti, la farà raffreddare in essiccatore e la ripeserà. In caso di presunta sublimazione, si dovrebbe verificare una significativa diminuzione di massa, cosa che, nelle condizioni di lavoro, non avviene. Aiutare gli allievi "scettici" a constatare questo fatto agevola la correzione delle errate concezioni menzionate.

Non è casuale che tra i prerequisiti manchino competenze come "sapere bilanciare un'equazione chimica" o "sapere svolgere calcoli con le moli" o, ancora, "conoscere ed applicare la definizione di sostanza pura in base alla costanza e riproducibilità delle proprietà intensive". Le prime due competenze si conseguono dopo avere studiato la materia a livello microscopico. Questo lavoro, invece, s'ispira esplicitamente ad un approccio macroscopico, più vicino al vissuto degli studenti e più adeguato ad una costruzione delle loro conoscenze dato che comporta, rispetto ad un approccio microscopico, un minore sforzo cognitivo. Nella nota esplicativa per i docenti, riportata dopo, si mostra come i risultati numerici ottenuti svolgendo le decomposizioni termiche (1) e (2) sono un valido strumento per trattare ed approfondire più efficacemente, soprattutto in corsi di studio successivi, i contenuti afferenti al bilanciamento delle equazioni chimiche. Il terzo prerequisito è manifestazione di competenze e conoscenze che si raggiungono, in genere, dopo quelle trattate in questo lavoro. I rapporti  $m_2/m_1$  e  $m_4/m_3$  sono anch'essi grandezze intensive e la loro costanza e riproducibilità può essere usata, come i punti di fusione o di ebollizione, per stabilire se un campione di materia è una sostanza pura.

Un esempio di verifica formativa è schematizzato nella tabella 3. La verifica potrà essere domestica o svolta in aula, in quest'ultimo caso sarà necessaria almeno un'ora e mezza. L'elenco del materiale occorrente per condurre le decomposizioni (1) e (2) e le istruzioni relative sono riportati, rispettivamente, nelle tabelle 4, 5 e 7. L'elenco del materiale occorrente per osservare e verificare la natura degli aeriformi prodotti durante le (1) e (2) è riportato nella tabella 9. La tabella 10, invece, contiene le istruzioni per identificare gli stessi aeriformi.

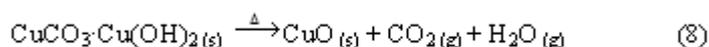
Se la classe ha già utilizzato i fogli elettronici, gli allievi possono preparare, come consegna domestica o come attività interdisciplinare, un foglio di lavoro come le tabelle 3 o 4 impostando formule e formati opportuni nelle celle destinate a riportare: le masse nette, i rapporti tra queste, il valore medio di  $m_2/m_1$  o  $m_4/m_3$ , l'errore assoluto su tali rapporti e quello relativo.

Infine, è bene considerare l'opportunità, tutt'altro che secondaria, di conservare e riciclare in ulteriori esperienze i prodotti solidi delle (1) e (2). Quanto ai refluvi prodotti per verificare la formazione di vapore acqueo e anidride carbonica, essi, se omogenei (cioè contenenti solo  $\text{BaCO}_3$  o solo  $\text{CaCO}_3$ ), potrebbero essere riuniti e conservati per svolgere o ripetere, ad esempio, una filtrazione ed il solido potrebbe essere lavato, essiccato, etc., e utilizzato in esperienze successive. Per quanto detto, gli allievi diventano protagonisti di attività in cui si producono materiali che non sono più rifiuti da smaltire. In questo modo, essi mettono in pratica un forte stimolo, non verbale ma non per questo vano, a svolgere attività poco inquinanti. Si ritiene, pertanto, che la valenza educativa delle attività discusse sia notevole.

Semplici esperienze di laboratorio utili per chiarire alcuni aspetti delle reazioni chimiche

### Nota esplicativa per i docenti

Nei curricula in cui lo studio della mole è essenziale, i risultati sperimentali di questo lavoro sono propedeutici allo studio di questa e possono essere utilizzati proficuamente come punto di partenza per giustificare il bilanciamento delle equazioni chimiche. Riscriviamo, ad esempio, la (2) non bilanciata:



Il coefficiente "2" per il CuO può essere ricavato senza bilanciare la (8) nel modo tradizionale. Si consideri la tabella 1 relativa alla decomposizione termica del  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  riportata nell'introduzione e si prendano, ad esempio, i dati del primo gruppo. Il valore medio del rapporto  $m_2/m_1$  è 0,72 quindi:

$$m_2 = m_1 \cdot 0,72$$

$$\text{Dato che } m_1 = 1,2548 \text{ g}$$

$$m_2 = m_1 \cdot 0,72 = 1,2548 \text{ g} \cdot 0,72 = 0,90 \text{ g}$$

Sia  $MM_1$  la massa molare del  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , le moli di  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $n_{\text{reag}}$ , sono uguali a:

$$n_{\text{reag}} = \frac{m_1}{MM_1} = \frac{1,2548 \text{ g}}{221,12 \text{ g/mol}} = 0,0056747 \text{ mol} .$$

Sia  $MM_2$  la massa molare del CuO, le moli di CuO,  $n_{\text{prod}}$ , sono uguali a:

$$n_{\text{prod}} = \frac{m_2}{MM_2} = \frac{0,90 \text{ g}}{79,545 \text{ g/mol}} = 0,011 \text{ mol} .$$

Il rapporto sperimentale tra  $n_{\text{prod}}$  e  $n_{\text{reag}}$  è uguale a:

$$\frac{n_{\text{prod}}}{n_{\text{reag}}} = \frac{0,011 \text{ mol}}{0,0056747 \text{ mol}} = 1,9 \text{ arrotondabile a } 2. \text{ q.e.d.}$$

Nella (8), che non è bilanciata, il rapporto tra  $n_{\text{prod}}$  e  $n_{\text{reag}}$  è uguale ad 1 ma il valore sperimentale è doppio! Nell'equazione chimica (8), la necessità di raddoppiare il coefficiente di reazione del CuO deriva dal valore sperimentale di  $n_{\text{prod}}/n_{\text{reag}}$ , che impone un vincolo sovrapposto a quello dato dalla legge di Lavoisier. Una discussione molto simile può essere sviluppata a proposito del bilanciamento della (2) o lasciata come verifica alla classe. Si è detto prima che valori di  $m_2/m_1$  o  $m_4/m_3$  che differiscono dai rispettivi valori teorici fino al 10 % sono accettabili. Lo svolgimento degli opportuni calcoli stechiometrici, sviluppati partendo da valori di  $m_2/m_1$  o  $m_4/m_3$  compresi nel range

indicato, dimostrano che in tale intervallo si perviene a rapporti molari  $\frac{n_{\text{prod}}}{n_{\text{reag}}}$  coerenti con quelli dati dal bilanciamento.

Lo svolgimento di quest'ultimo tipo di verifica è, comunque, più adeguato in curricula successivi a quello relativo a questo lavoro.

### Conclusioni

Le reazioni di decomposizione termica del carbonato basico di rame e del bicarbonato di sodio, insieme all'identificazione degli aeriformi prodotti nel corso dei due fenomeni, hanno valenza didattica ed educativa, soprattutto se svolte dagli stessi studenti. Il lavoro manuale è semplice e coinvolgente; i risultati numerici ottenuti sono riproducibili ed i prodotti che si formano sono facilmente conservabili e riciclabili. L'esame dei risultati numerici ottenuti, potenzia efficacemente le conoscenze sulle reazioni chimiche, permette di evidenziare aspetti che si affiancano alla legge di conservazione della massa ed è un efficace approfondimento delle conoscenze sulle relazioni ponderali tra le sostanze coinvolte in una reazione chimica. La discussione sui risultati qualitativi e quantitativi ottenuti, infine, aiuta nella correzione di alcune concezioni errate e fornisce fecondi spunti per trattare o sviluppare contenuti di altre unità d'apprendimento.

**Tabella 3. Esempio di verifica**

Alla classe, dopo avere concluso entrambe o una delle reazioni, verrà chiesto di rispondere alle domande del seguente questionario (tra parentesi il punteggio massimo attribuibile ad ogni risposta).

1. Elenca il materiale usato (1 punto).
2. Quali sono: lo stato d'aggregazione ed il colore della sostanza adoperata (2 punti)?
3. Quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa di ciascuna capsula (1 punto)?
4. Quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa totale di ciascuna capsula contenente la sostanza riscaldata (2 punti)?
5. Quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa della sostanza (1 punto)?
6. Mostra i calcoli, usando simboli, dati numerici ed unità di misura, svolti per ricavare la massa della sostanza. Fai riferimento ai dati del tuo gruppo (4 punti).
7. A che temperatura è stata riscaldata la sostanza? E per quanto tempo (2 punti)?
8. Dopo il riscaldamento, quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa totale di ciascun contenitore del solido residuo (1 punto)?
9. Di che colore era il solido residuo dopo il riscaldamento (1 punto)?
10. Dopo il riscaldamento, quale simbolo è stato adoperato per indicare la massa del residuo (1 punto)?
11. Mostra i calcoli, usando simboli, dati numerici ed unità di misura, svolti per ricavare la massa del residuo. Utilizzare i dati del proprio gruppo (4 punti).
12. Che unità di misura ha il rapporto tra massa del residuo e quella iniziale della sostanza? Giustifica la tua risposta (2 punti).
13. Riportare in una tabella tutti i risultati ottenuti, i propri e quelli dei compagni (4 punti).
14. Confrontare la massa della sostanza iniziale e quella del residuo. Cosa si può affermare (3 punti)?
15. I risultati del confronto precedente contraddicono la legge di conservazione della massa? Motivare la risposta (3 punti).
16. Come si calcola ed arrotonda l'errore assoluto? Mostrare i passaggi numerici (4 punti).
17. Come si calcola ed arrotonda il valore medio del rapporto tra: massa del residuo e quella della sostanza iniziale? Mostrare anche i passaggi numerici usando i propri dati (4 punti).
18. Come si calcola ed arrotonda l'errore relativo percentuale? Mostrare i passaggi numerici utilizzando i propri dati (4 punti).
19. Fatti salvi gli errori sperimentali, la massa del residuo e quella della sostanza iniziale sono direttamente proporzionali (4 punti)?
20. Una reazione chimica è sempre accompagnata da variazioni di colore? Motivare la risposta (4 punti).
Calcolo del voto. Il voto, arrotondato a due decimali, sarà dato dalla: $\text{voto} = 10 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{20} \text{punteggio}_i}{52}$
Dove: punteggio <sub>i</sub> è il punteggio parziale attribuito ad ogni risposta; 52 è la somma dei punteggi massimi parziali attribuibili a ciascuna risposta.

**Tabella 4. Materiale occorrente per osservare e condurre le decomposizioni termiche**

1. Stufa tempestabile in grado di riscaldare ad almeno 150 °C
2. Non toccare le pareti interne della stufa, rischio di ustione!
3. Bruciatore Bunsen o piastre elettriche riscaldanti, potenza circa 1500 W
4. Non toccare la fiamma del Bunsen, il non toccare il tubo metallico del bruciatore o la piastra elettrica, rischio di ustione!
5. Treppiedi (solo se si usa il bruciatore Bunsen)
6. Rete spargifiamma (solo se si usa il bruciatore Bunsen)
7. Bilancia tecnica o analitica
8. Lavagna
9. Essiccatore
10. Quaderno per annotare dati, osservazioni e discussioni
11. Capsula di porcellana del diametro di circa 6 cm
12. Spatola
13. Bicarbonato di sodio
14. Carbonato basico di rame
15. Pinza metallica (in caso di utilizzo della capsula)

**Tabella 5.** Istruzioni per eseguire la decomposizione termica del carbonato basico di rame

1. Accendere la piastra elettrica o il Bunsen. Se si usa il Bunsen, sistemare il treppiedi e la rete spargifiamma sopra il bruciatore prima dell'accensione.
2. Si raccomanda cautela in prossimità del Bunsen o della piastra riscaldante: rischio di ustioni! Non toccare la piastra, non avvicinare le mani alla fiamma, non toccare il tubo metallico del bruciatore.
3. Pesare una capsula, preventivamente portata a massa costante. Indicare la tara con il simbolo $m$ , ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna, sotto la colonna $m$ . Ricopiare la tabella della lavagna (vedi tabella 6) anche sul proprio quaderno.
4. Ricopiare, sulla tabella del proprio quaderno, anche i dati determinati da altri compagni o gruppi.
5. Se si lavora con una bilancia tecnica, introdurre nella capsula poco più di 1,6 grammi di $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ . Se si ha a disposizione una bilancia analitica, basta lavorare con poco meno di 1 g di sostanza.
6. Lavorando con il carbonato basico di rame, evitare il contatto con gli occhi, la pelle e gli indumenti. Non inalare le polveri, non ingerire il composto.
7. Se il materiale presentasse grumi, disgregarli per mezzo della spatola. Misurare la massa lorda solo dopo l'eventuale disgregazione dei grumi. Indicare tale massa con il simbolo $m'$ ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m'$ .
8. Per mezzo della pinza metallica, sistemare la capsula contenente il solido sulla piastra elettrica o sulla rete spargifiamma. Lasciare la capsula sulla superficie riscaldante per circa 40 minuti ed annotare cosa avviene. Ogni 5 minuti circa, muovere cautamente, solo per mezzo della pinza, la capsula in modo da garantire il contatto tra le pareti di questa ed il solido che ancora non si è trasformato.
9. Non toccare la capsula con le mani! Rischio di ustione. Muovere la capsula solo per mezzo della pinza.
10. Calcolare la massa netta ( $m_1$ ) della sostanza contenuta nella capsula applicando la: $m_1 = m' - m$ . Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_1$ .
11. Trascorsi 30 minuti, osservare cautamente se ci sono granelli o grumi di colore verde. In quest'ultimo caso, continuare a riscaldare muovendo la capsula finché tutto il solido è nero.
12. Appena tutto il residuo è nero (non debbono essere presenti granelli di colore verde), aprire l'essiccatore ed introdurre la capsula, per mezzo della pinza. Chiudere l'essiccatore e lasciarvi raffreddare la capsula per circa 10 minuti.
13. Lavorando con l'ossido di rame, evitare il contatto con gli occhi, la pelle o i vestiti. Non inalare le polveri, non ingerire il composto.
14. Aprire l'essiccatore e prelevare, tramite la pinza, la capsula. Chiudere l'essiccatore e pesare subito la capsula. Usare il simbolo $m''$ per indicare la massa lorda della capsula con il residuo nero. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m''$ . Riporre la capsula in essiccatore.
15. Calcolare la massa netta del residuo ( $m_2$ ) per mezzo della seguente differenza: $m_2 = m'' - m$ . Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_2$ .
16. Calcolare il rapporto $m_2/m_1$ tra massa del residuo solido e quella del reagente solido: annotare il risultato al corretto numero di cifre significative ed annotarlo sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_2/m_1$ .
17. Trasferire il residuo dalla capsula all'apposito contenitore etichettato.

**Tabella 6.** Esempio di tabella con i dati relativi alla decomposizione termica del carbonato basico di rame

Numero del team	$m$ (g)	$m'$ (g)	$m_1$ (g)	$m''$ (g)	$m_2$ (g)	$m_2/m_1$
1						
2						
3						
...						
errore su $m_2/m_1$						
valore medio di $m_2/m_1$						
errore % su $m_2/m_1$						

Tabella 7. Istruzioni per eseguire la decomposizione termica del bicarbonato di sodio

1. Accendere la stufa ed impostare la temperatura a 150 °C. Non toccare le pareti interne della stufa (RISCHIO DI USTIONE).
2. Pesare una capsula, preventivamente portata a massa costante. Indicarne la tara con il simbolo $m_1$ , ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_1$ . Ricopiare la tabella della lavagna (vedi tabella 8) anche sul proprio quaderno.
3. Ricopiare, sulla tabella del proprio quaderno, anche i dati determinati da altri compagni o gruppi.
4. Se si lavora con una bilancia tecnica, introdurre nella capsula poco più di 1,6 grammi di $\text{NaHCO}_3$ . Se si ha a disposizione una bilancia analitica, basta lavorare con poco meno di 1 g di sostanza.
5. Lavorando con il bicarbonato di sodio, evitare il contatto con gli occhi, la pelle o i vestiti. Non inalare le polveri, non ingerire il composto.
6. Se il solido presentasse grumi, disgregarli per mezzo della spatola. Misurare la massa lorda solo dopo l'eventuale disgregazione dei grumi. Indicare tale massa con il simbolo $m'$ ed annotarla, sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m'$ .
7. Per mezzo della pinza metallica, sistemare la capsula contenente il solido all'interno della stufa facendo attenzione a non toccarne le pareti interne (RISCHIO DI USTIONE). Richiudere subito la stufa e lasciarvi la capsula per circa 45 minuti.
8. Non toccare la capsula con le mani! Rischio di ustione. Muovere la capsula solo per mezzo della pinza.
9. Calcolare la massa netta ( $m_3$ ) dell'idrogenocarbonato di sodio contenuto nella capsula applicando la: $m_3 = m' - m_1$ . Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_3$ .
10. Trascorsi 45 minuti, aprire la stufa facendo attenzione a non toccarne le pareti interne (RISCHIO DI USTIONE) e, per mezzo della pinza, prelevare la capsula contenente. Richiudere la stufa. Annotare stato d'aggregazione e colore del residuo e confrontarli con quelli del solido iniziale.
11. Aprire l'essiccatore ed introdurre la capsula, per mezzo della pinza. Chiudere l'essiccatore e lasciarvi raffreddare la capsula per circa 10 minuti.
12. Aprire l'essiccatore e prelevare, tramite la pinza, la capsula. Chiudere l'essiccatore, pesare subito la capsula. Usare il simbolo $m''$ per indicare la massa lorda della capsula con il residuo. Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m''$ . Riporre la capsula in essiccatore.
13. Calcolare la massa netta del residuo ( $m_4$ ) per mezzo della seguente differenza: $m_4 = m'' - m_1$ . Annotare il dato sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_4$ .
14. Calcolare il rapporto $m_4/m_3$ tra massa del residuo solido e quella del reagente solido: arrotondare il risultato al corretto numero di cifre significative ed annotarlo sul proprio quaderno ed alla lavagna sotto la colonna $m_4/m_3$ .
15. Trasferire il residuo dalla capsula all'apposito contenitore etichettato.

Tabella 8. Esempio di tabella con i dati relativi alla decomposizione termica del bicarbonato di sodio

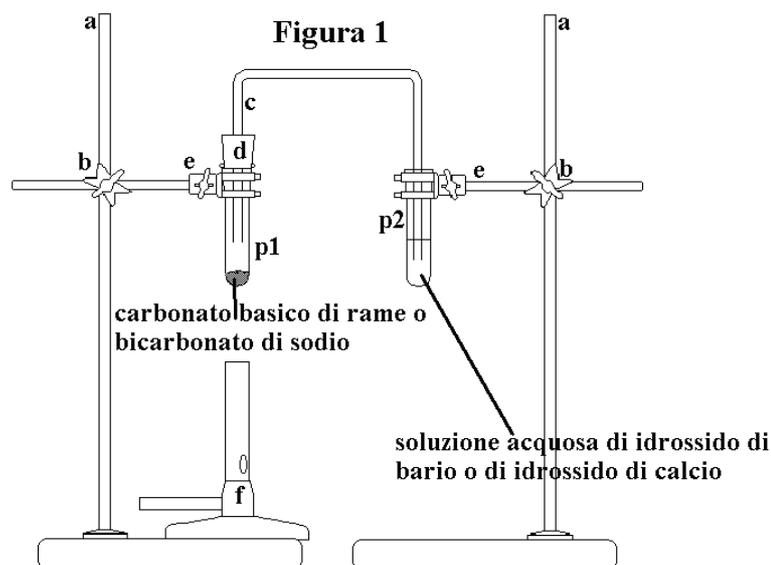
Numero del team o nome	$m_1$ (g)	$m'$ (g)	$m_3$ (g)	$m''$ (g)	$m_4$ (g)	$m_4/m_3$
1						
2						
3						
...						
					errore su $m_4/m_3$	
					valore medio di $m_4/m_3$	
					errore % su $m_4/m_3$	

Tabella 9. Materiale occorrente per osservare e verificare la natura degli aeriformi prodotti

1. Bruciatore Bunsen
2. 2 tubi da saggio
3. Tubo di vetro ripiegato 2 volte ad angolo retto
4. Tappo forato da inserire sulla bocca di una delle provette, il diametro del foro dev'essere uguale al diametro esterno del tubo di vetro
5. Spatola
6. 2 aste di sostegno con base d'appoggio
7. 2 pinze per sostenere le provette e da innestare sull'asta
9. Soluzione acquosa di diidrossido di bario, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , 1M o di diidrossido di calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 1M.

**Tabella 10.** Istruzioni per identificare gli aeriformi prodotti durante il riscaldamento del carbonato basico di rame e quello del bicarbonato di sodio

1. Per il montaggio, fare riferimento alla figura 1.
2. Montare su ogni asta verticale (a) un sostegno (b) per pinza con bacchetta.
3. Montare su ogni sostegno (b) una pinza con bacchetta (e).
4. Innestare un'estremità del tubo di vetro (c) nel tappo forato (d) in modo che dalla superficie inferiore del tappo il tubo sporga di pochi centimetri.
5. Introdurre, in una sola delle due provette (p1) <b>che deve essere asciutta</b> , una punta di spatola di carbonato basico di rame. Nella figura 1, tale provetta è a sinistra.
6. Innestare il tappo (d), su cui è introdotto il tubo di vetro (c) sulla provetta precedente (p1).
7. Agganciare la provetta ad una pinza con bacchetta (e), già montata su una delle due aste. Spostare prudentemente la pinza (e) in modo che il fondo della provetta sia lambito dalla fiamma del Bunsen (f) che <b>deve essere momentaneamente spento</b> .
8. Introdurre nella seconda provetta (p2) un volume di $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 1M o di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M sufficiente affinché l'altra estremità del tubo di vetro, nella figura 1 è a destra, peschi qualche cm sotto il livello del liquido.
9. Accendere il Bunsen e <b>fare attenzione al rischio di ustioni</b> . Regolare il rapporto aria/combustibile in modo che la fiamma NON sia luminosa (fiamma riducente): questa potrebbe annerire la provetta e compromettere le osservazioni. Riscaldare SOLO il fondo della provetta tappata muovendo sempre il bruciatore: se la fiamma riscaldasse una sola zona della provetta, questa potrebbe rompersi.
10. Osservare se nella soluzione della provetta p2 si ha gorgogliamento e se avviene altro.
11. Osservare cosa avviene sulla parete fredda della provetta tappata (p1).
12. Abbassare la provetta p2 in modo che il tubo di vetro NON vi peschi più, quindi spegnere il Bunsen.
13. Versare il liquido della provetta negli appositi contenitori per lo smaltimento dei rifiuti. Alternativamente, conservarlo e riunirlo a quello prodotto dagli altri compagni in appositi contenitori etichettati in attesa di successive esperienze.
14. Nel caso del bicarbonato di sodio, ripetere i passaggi 1÷13.
15. Confrontare i risultati di tutte le osservazioni fatte lavorando sul $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ e sul $\text{NaHCO}_3$ .



#### Bibliografia

- [1] P. Mirone, *La Chimica nella Scuola*, 3, 1999, 67-70.  
 [2] B. Raimondi, *Didattica delle Scienze e Informatica nella Scuola*, 229, 2004, 55-56.  
 [3] D. Sheeran, *J. Chem. Educ.*, 1998, 75, 453.  
 [4] J. R. Taylor, *Introduzione all'analisi degli errori*, capitoli 1-2, Zanichelli, Bologna, 1986.

# La matematizzazione dei processi chimico-fisici: estrazione con solvente

Francesco Giuliano\*  
francesco.giulianolt@libero.it

## Riassunto

L'estrazione del soluto da una soluzione con un opportuno solvente, immiscibile con la soluzione, offre degli spunti didattici interdisciplinari significativi che richiedono la conoscenza e l'elaborazione di concetti chimici, fisici e geometrici. Al tempo stesso fa comprendere su quali basi teoriche è posta l'estrazione di molte sostanze dai vegetali.

## Abstract

The extraction of the solute by a solution with an opportune solvent, not mixable with the solution, she offers some meaningful interdisciplinary didactic occasions that ask for the knowledge and the elaboration of chemical, physical and geometric concepts. At the same time it makes to understand on what theoretical bases she is set the extraction of a lot of substances by the vegetables.

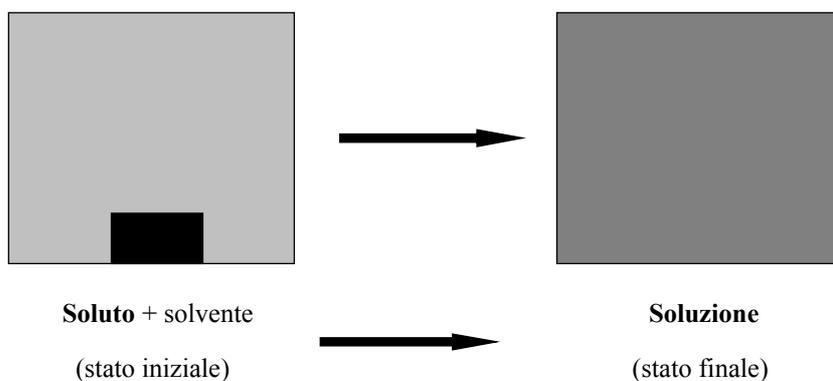
## Premessa

La soluzione è un miscuglio omogeneo liquido, solido o gassoso in cui due o più i componenti sono distribuiti uniformemente in esso. Per motivazioni storiche la sostanza meno abbondante del miscuglio è chiamata soluto (che è sciolto), mentre quella più abbondante è detta solvente (che scioglie).

In questa trattazione vengono considerate soltanto particolari aspetti delle soluzioni liquide.

In definitiva, la dissoluzione di un soluto in un solvente dipende dalle proprietà chimiche e fisiche del solvente e da quelle del soluto.

La dissoluzione è caratterizzata da uno stato iniziale, in cui si distingue il soluto dal solvente (sistema in evoluzione), e da uno stato finale, caratterizzato da un sistema omogeneo che si chiama soluzione (sistema che ad una data temperatura rimane stabile nel tempo).



Il passaggio del sistema dallo stato iniziale (eterogeneo) allo stato finale (omogeneo) richiede un certo tempo che dipende da diversi fattori, tra cui la superficie di contatto offerta dalle particelle di soluto, la temperatura e la concentrazione.

La capacità di una sostanza di formare una soluzione con un'altra sostanza in termini generici viene detta solubilità.

Data una certa quantità di solvente, aggiungendo quantità gradualmente crescenti di soluto, ad una data temperatura, si raggiunge una certa soglia di dissoluzione oltre la quale il soluto si deposita al fondo (**corpo di fondo**).

Per dare, allora, significato quantitativo all'argomento si definisce la **solubilità S**, ad una data temperatura, la quantità massima espressa in grammi di una sostanza che si scioglie in 100 grammi di solvente puro. Quando si supera la solubilità S, a quella temperatura, si viene ad avere un corpo di fondo e la soluzione si dice *satura*.

*Similia similibus solvuntur* è la regola empirica degli alchimisti medievali secondo la quale se un soluto e un solvente hanno affinità formano una soluzione. Oggi diciamo che, se le due sostanze sono caratterizzate da un legame chimico

\*già docente ordinario di "Chimica e tecnologie chimiche" nelle Scuole statali superiori e Supervisore di tirocinio nonché docente a contratto di "Didattica della chimica" presso la SSIS dell'Università Roma Tre – ind. SN.

## Estrazione con solvente

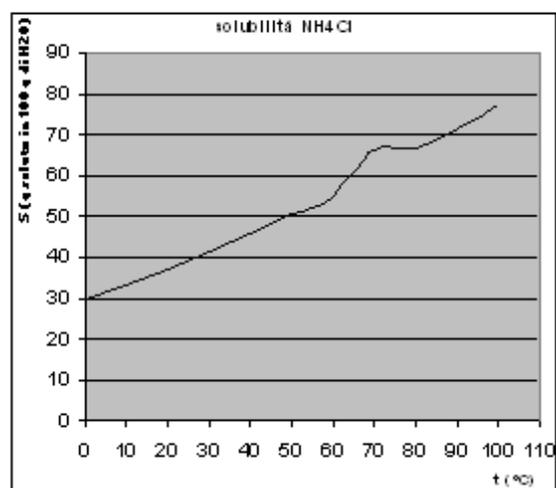
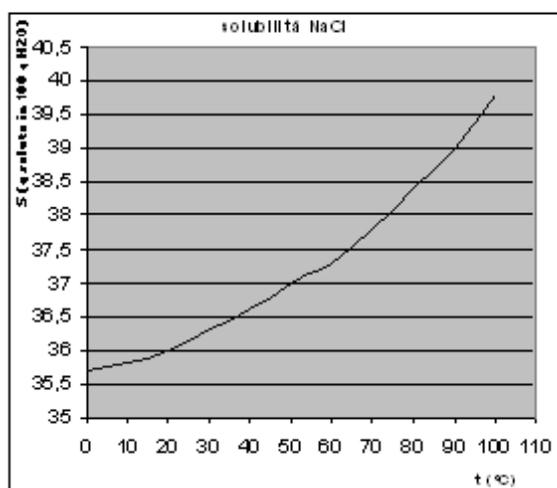
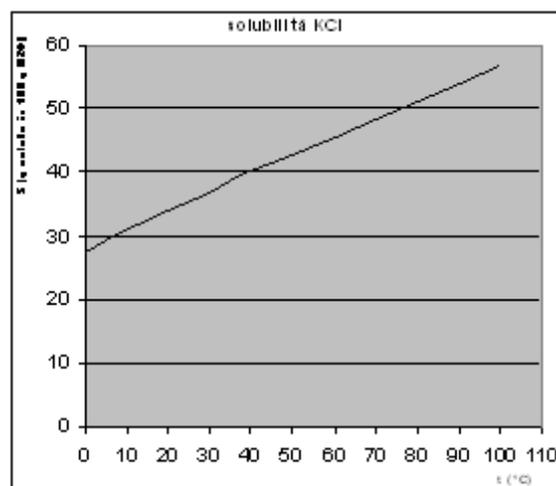
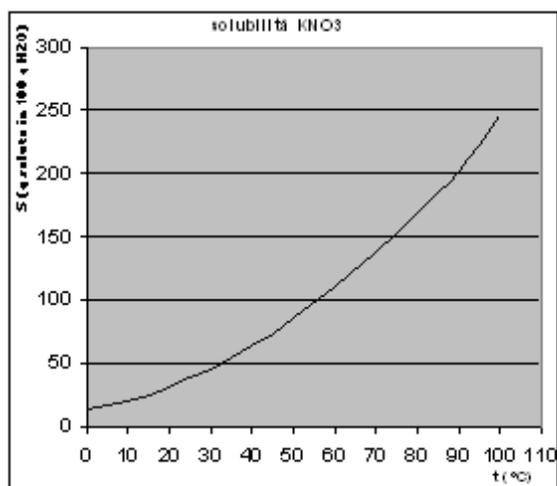
dello stesso genere, avviene la dissoluzione. La regola, in altre parole, si può formulare in questo modo: *una sostanza polare scioglie una sostanza polare, mentre una sostanza non polare scioglie una sostanza non polare*. È appena il caso di citare, come esempio, l'acqua che essendo un liquido polare discioglie tutti gli elettroliti e le sostanze molecolari polari o facilmente polarizzabili: l'acqua scioglie la glicerina (sostanza polare la cui solubilità è completa a 18°C), l'acqua non è miscibile con l'esano (sostanza apolare la cui solubilità in acqua a 20 °C è estremamente bassa: 0,0095 g/L).

La solubilità  $S$  di una sostanza varia al variare della temperatura. Se in un piano cartesiano ( $t$ ,  $S$ ) si riportano le varie solubilità di una sostanza, determinate alle varie temperature considerate, si costruisce la curva di solubilità della sostanza. A tal proposito nella tabella 1 sono riportate le solubilità<sup>1</sup> di alcuni elettroliti alle diverse temperature indicate (la solubilità è espressa in g di soluto per 100 g di H<sub>2</sub>O):

Tabella 1

t (°C)	NaCl	KCl	KNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl
0	35,7	27,6	13,3	29,4
10	35,8	31	20,9	33,3
20	36	34	31,6	37,2
30	36,3	37	45,8	41,4
40	36,6	40	63,9	45,8
50	37	42,6	85,5	50,4
60	37,3	45,5	110	55,2
70	37,8	48,3	138	66,2
80	38,4	51,1	169	66,6
90	39	54	202	71,3
100	39,8	56,7	246	77,3

Con i dati della tabella, infatti, si costruiscono le curve di solubilità di ogni sostanza, da cui risulta evidente che, per le sostanze considerate, la solubilità aumenta al crescere della temperatura:



### Estrazione con solvente

Due liquidi immiscibili o poco miscibili, non sottoposti ad agitazione, messi in un recipiente si stratificano in base alla loro densità: quello con densità maggiore si stratifica al fondo e quello con densità inferiore si dispone sopra di esso. La separazione dei due liquidi è facile se il recipiente ha alla base un adatto sistema di fuoriuscita (figura 1). Oppure si può eseguire l'operazione di prelievo del liquido soprastante con una pipetta Pasteur (se si tratta di piccoli volumi). Questo fatto può essere sfruttato per l'estrazione di una sostanza da una data soluzione.



Figura 1.

L'**estrazione con solvente** è un metodo che permette, ad una data temperatura, di estrarre il soluto X da una soluzione con un opportuno solvente (immiscibile con la soluzione), nel quale il soluto è più solubile sulla base di un rapporto tra le concentrazioni del soluto in ciascuno dei due solventi. Tale rapporto è detto **coefficiente di ripartizione** che viene generalmente indicato con la lettera K.

In pratica, si forma un sistema costituito da due strati, immiscibili tra loro, in ognuno dei quali il soluto si distribuisce in maniera definitiva. Anche questo processo è caratterizzato da uno **stato iniziale** (fig. 2), in cui ancora si distingue la soluzione dal solvente puro (sistema in evoluzione), e da uno **stato finale** (fig. 3), contrassegnato da due sistemi omogenei (che ad una data temperatura rimangono stabili nel tempo).

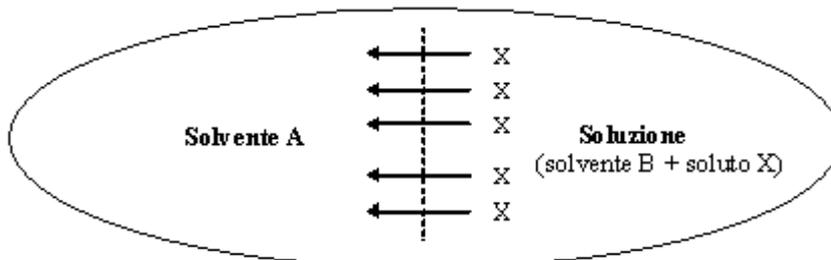


Figura 2. Sistema iniziale in evoluzione

Il raggiungimento dell'equilibrio dipende dall'area della superficie dell'interfaccia e dalla distanza che le particelle di soluto devono percorrere, oltre che dalla loro mobilità.

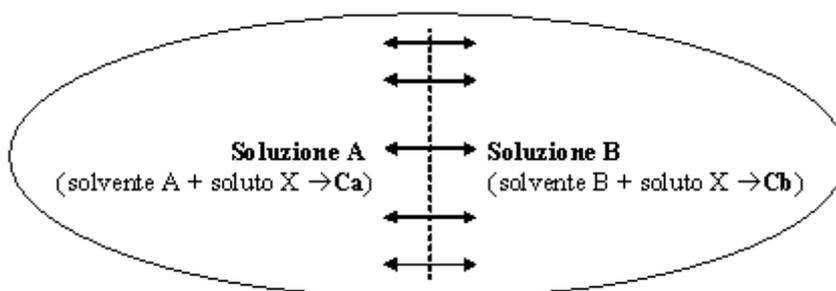


Figura 3. Sistema in equilibrio

In definitiva, l'estrazione richiede un certo tempo fino a quando non si ripristina l'equilibrio dettato dalla costante K di ripartizione

$$K = C_a / C_b$$

dove  $C_a$  è la concentrazione del soluto nella soluzione A e  $C_b$  è quella nella soluzione B.

## Estrazione con solvente

Se si tiene conto della **solubilità S**, che esprime, a temperatura costante, la concentrazione massima che un soluto può raggiungere in un dato solvente, il coefficiente di ripartizione **K** si può esprimere anche con la seguente formula

$$K = S_a / S_b$$

dove **S<sub>a</sub>** e **S<sub>b</sub>** sono le solubilità rispettive del soluto nei due liquidi.

Per tutta l'estensione della superficie di contatto delle due fasi liquide, il soluto X passa dalla soluzione A al solvente puro con una certa velocità sulla base dei fattori indicati (figura 2), fino a che non si stabilisce la situazione di equilibrio (figura 3).

Per esempio, ad un sistema di due strati liquidi immiscibili, tetracloruro di carbonio ed acqua, si aggiunge iodio (solido). Questo si distribuisce tra i due strati sulla base della solubilità dello iodio in ciascuno dei due liquidi. Lo stesso si verifica se si prepara una soluzione di iodio in acqua e poi si aggiunge tetracloruro di carbonio.

A temperatura ambiente il coefficiente di ripartizione<sup>2</sup> corrisponde al raggiungimento dell'equilibrio:

$$K = \frac{\text{Concentrazione dello iodio in CCl}_4}{\text{Concentrazione dello iodio in H}_2\text{O}} = 85,1$$

Ciò vuol dire che a parità di volume dei due solventi, tetracloruro di carbonio e acqua, la quantità dello iodio nel solvente organico è 85,1 volte più elevata di quella che lo stesso soluto raggiunge nell'acqua.

Questo permette, dato che la solubilità dello iodio<sup>1</sup> in acqua a 20°C è 0,029 g/100 g di H<sub>2</sub>O, dal valore di K di determinare, in un sistema in equilibrio, la solubilità dello iodio in tetracloruro di carbonio:

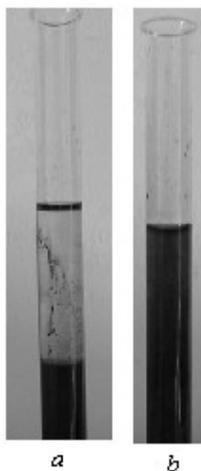
$$C(\text{I}_2 \text{ in CCl}_4) = 85,1 \cdot 0,029 \text{ g/100 g H}_2\text{O} = 2,47 \text{ g/100 g CCl}_4.$$

Quanto detto si può provare, in termini qualitativi, praticamente e facilmente, versando volumi identici di tintura di iodio, diluita con acqua, in due provette aventi dimensioni uguali e aggiungendovi circa un ugual volume di olio di oliva.

L'olio avendo una densità inferiore si dispone in alto, mentre la soluzione iodica si stratifica in basso.

Lasciando immobile una provetta e agitando l'altra, si osserva che in quest'ultima, dopo averla lasciata immota per un certo tempo, lo strato oleoso si colora di rosso scuro molto più velocemente della prima. In definitiva, senza agitazione l'estrazione dello iodio richiede molto tempo (diversi giorni!).

Quanto detto si può osservare nella figura 4:



**Figura 4.** a) senza dibattimento, b) con dibattimento

Questo fatto sperimentale lascia supporre che la velocità di ripartizione sarà più grande se si aumenta la superficie di contatto tra i due strati immiscibili. Lo sbattimento del sistema, infatti, favorisce l'estrazione in termini temporali producendo un'emulsione, cioè lo strato di olio si suddivide in tante minute goccioline disperse nello strato acquoso.

Questo vuol dire che la superficie di contatto tra i due liquidi non è più la superficie corrispondente alla sezione della provetta (Una provetta avente il diametro di 1,4 cm ha la sezione trasversale circolare la cui area è 1,54 cm<sup>2</sup>), ma è la somma delle superfici di tutte le goccioline formatesi e ogni gocciolina ha forma sferica. La superficie totale di tutte le goccioline sarà sicuramente maggiore di quella del singolo strato. Si riduce in questo modo notevolmente la distanza che le particelle di soluto devono percorrere (Se la provetta non si agita e il volume dello strato oleoso è 1 cm<sup>3</sup>, la distanza massima che le particelle di soluto devono percorrere nello strato oleoso è 0,65 cm) e il processo diventa più

veloce. Si può concludere allora che il dibattimento rende più rapido il trasferimento dello iodio dalla soluzione idroalcolica all'olio.

### Valutazioni geometriche

Le seguenti considerazioni di natura geometrica dimostrano la predetta conclusione intuitiva.

Una sferetta avente il raggio  $r = 1$  mm ha la superficie  $St = 12,57$  mm<sup>2</sup> e il volume  $V = 4,19$  mm<sup>3</sup>. Si immagini, adesso, di rompere la sferetta in tante sferette ognuna delle quali ha il raggio  $r = 0,5$  mm. Si avranno 8 sferette, in quanto il volume della sferetta  $V$  si distribuisce in  $n$  sferette di volume  $v$ :  $V = n \cdot v$  da cui  $n = V/v$ . Ognuna di queste ultime ha una superficie  $S = 3,14$  mm<sup>2</sup>, ma la superficie totale è aumentata. Essa è raddoppiata. Infatti  $St$  passa da 12,57 mm<sup>2</sup> a  $St = 25,13$  mm<sup>2</sup>.

Se immaginiamo di continuare a frazionare ulteriormente e supponiamo di ottenere delle sferette dal raggio pari a un terzo del raggio della sferetta di partenza, facendo i calcoli, si ottiene un valore triplo della  $St = 37,70$  mm<sup>2</sup> complessiva. È intuitivo pensare che aumentando ancora il frazionamento aumenti di conseguenza anche la superficie totale  $St$ .

Nella tabella, infatti, sono riportati alcuni valori relativi al frazionamento del raggio unitario di partenza, e si nota che all'aumentare del frazionamento accrescendo il numero delle sferette, si sviluppa la loro superficie totale.

**Tabella 2**

r (mm)	s = 4r <sup>2</sup> π (mm <sup>2</sup> )	v = 4/3r <sup>3</sup> π (mm <sup>3</sup> )	v (cm <sup>3</sup> )	n. particelle	St (mm <sup>2</sup> )
1	12,57	4,19	0,0042	1	12,57
0,5	3,14	0,52	0,00052	8	25,13
0,333	1,40	0,16	0,00016	27	37,70
0,25	0,79	0,066	6,55E-05	64	50,27
0,2	0,50	0,033	3,35E-05	125	62,83
0,167	0,35	0,019	1,94E-05	216	75,40
0,143	0,26	0,012	1,22E-05	343	87,96
0,125	0,20	0,0082	8,18E-06	512	100,53
0,111	0,16	0,0057	5,75E-06	729	113,10

Trasferendo in un sistema di assi cartesiani il raggio in funzione del numero delle sferette (grafico 1), si osserva che dimezzando il raggio il numero delle particelle  $n$  è 2<sup>3</sup>, che dividendo il raggio in tre parti uguali il numero di particelle  $n = 3^3$  e così via; per cui si può dedurre che se il raggio viene suddiviso in  $n$  parti il numero delle particelle ottenute sarà  $n^3$ .

Riportando, inoltre, il raggio in funzione della  $St$  (grafico 2), si osserva l'esistenza di una proporzionalità inversa tra il numero di divisioni del raggio e la  $St$ .

Dimezzando, infatti, il raggio della sferetta iniziale la  $St$  raddoppia, se si divide il raggio della stessa sferetta in tre parti la  $St$  triplica, e così via.

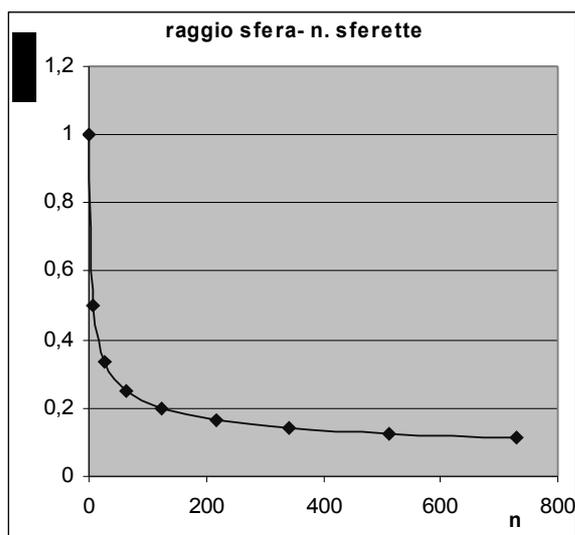


Grafico 1

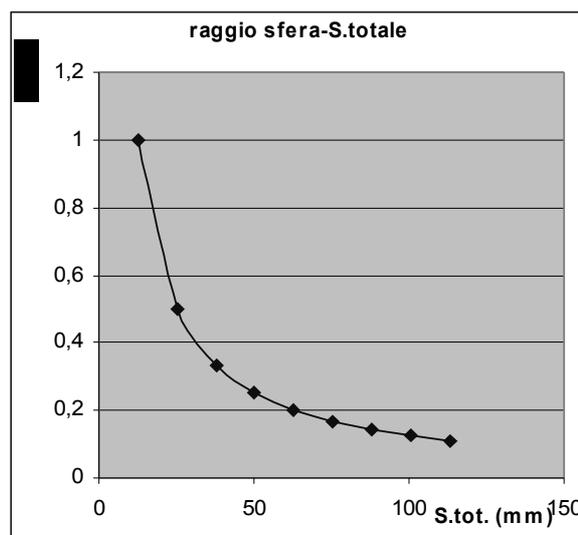


Grafico 2

## Estrazione con solvente

Sulla base di queste valutazioni teoriche di natura geometrica, se adesso, operando praticamente, si prende 1 cm<sup>3</sup> di olio (pari a 1000 mm<sup>3</sup>) e si dibatte con 1 cm<sup>3</sup> di acqua fino ad avere delle goccioline di olio aventi ognuna il raggio r = 1 mm a cui corrisponde il volume v = 4,19 mm<sup>3</sup>, sulla base dei dati riportati in tabella 2 si avranno n = 238,7 particelle a cui equivale una St = 3000 mm<sup>2</sup>. Se si dibatte ancora più energicamente, si avrà una frantumazione maggiore che può portare gradualmente ai dati raccolti in tabella 3. Da questa si evince che la St complessiva è inversamente proporzionale al raggio di ogni gocciolina. Dal grafico 3, invece, si deduce ovviamente che all'aumentare del numero delle particelle aumenta anche la superficie complessiva St.

Tabella 3

r (mm)	n part. = V/v	v = 4/3r <sup>3</sup> π (mm <sup>3</sup> )	St(mm <sup>2</sup> )
1	238,7	4,19	3000
0,5	1909,9	0,523	6000
0,333	6445,8	0,156	9000
0,25	15278,9	0,0654	12000
0,2	29841,6	0,0335	15000
0,167	51566,2	0,0194	18000
0,143	81885,2	0,0122	21000
0,125	122230,9	0,00818	24000
0,111	174035,9	0,00575	27000

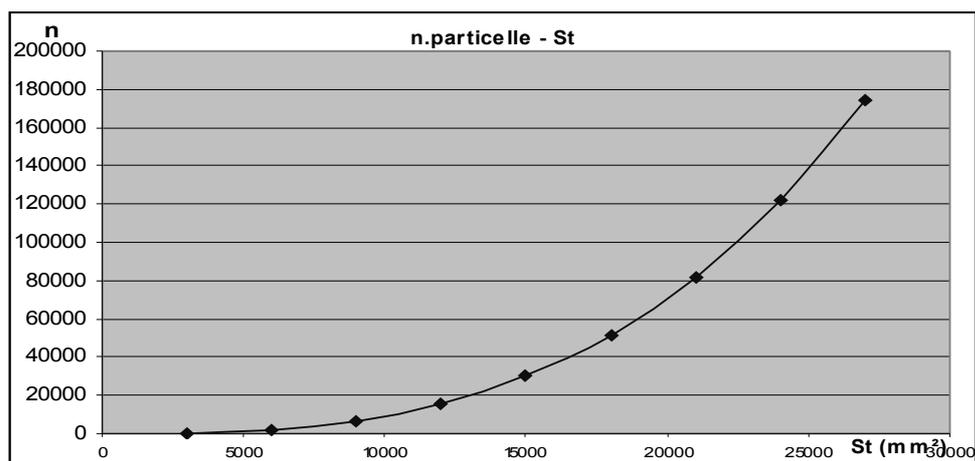


Grafico 3

### Aspetti quantitativi

Se si assume che il tempo di estrazione sia inversamente proporzionale alla superficie di contatto dei due liquidi, si può dire che, se non si dibatte il sistema, il tempo necessario al soluto per passare dalla soluzione al solvente risulterà molto elevato. In realtà, si può constatare molto facilmente che l'estrazione del soluto senza dibattimento è molto più lenta e in alcuni casi ci vogliono molte ore o addirittura diversi giorni per osservare una estrazione significativa.

Un esempio di quanto detto può essere offerto dall'estrazione dello iodio, disciolto in una miscela idroalcolica (tintura di iodio) di colore rosso-violetto, con olio di oliva (o di soia o altro).

Questo fatto può essere dedotto dal cambiamento di colore dell'olio che passa da un colore giallo-chiaro a uno rosso-bruno, molto caratteristico.

Se si prende una provetta avente il diametro di 1,4 cm, la sua sezione trasversale come già detto è un cerchio avente l'area = 1,54 cm<sup>2</sup>. Questo vuol dire che se si aggiunge alla soluzione idroalcolica di iodio, già presente nella provetta, 1 cm<sup>3</sup> di olio, questo si disporrà al di sopra della soluzione in quanto la sua densità è minore di quella della miscela idroalcolica. Se non si dibatte, l'estrazione dello iodio, da parte dell'olio attraverso un'interfaccia avente la superficie di 1,54 cm<sup>2</sup> pari a 154 mm<sup>2</sup>, sarà molto lenta.



Osservando quello che succede dibattendo i due liquidi, si può constatare che l'olio si è suddiviso in tante goccioline. Ciò significa che la superficie di contatto tra i due liquidi non è più la superficie corrispondente alla sezione della provetta, ma è la somma delle superfici di tutte le goccioline formate. Se, quindi, si dibatte fino ad avere ipoteticamente goccioline aventi, ad esempio, il raggio di 1 mm, si avrà complessivamente una superficie di contatto  $S_c$  pari a 3000  $\text{mm}^2$ , circa 20 volte più elevata. Se si dibatte ulteriormente si avrà presumibilmente un frazionamento maggiore. Supponendo, in questo caso, che l'unico fattore\* che gioca un ruolo fondamentale sull'estrazione sia la superficie di contatto in quanto è diminuito notevolmente il "cammino" che il soluto deve percorrere, posto uguale a uno il tempo generico di estrazione senza dibattimento, con il dibattito esso diventerà un ventesimo di quel dato valore. Se si dibatte ulteriormente si aumenterà la superficie di contatto e conseguentemente diminuirà il tempo di estrazione (tabella 4 e grafico 4).

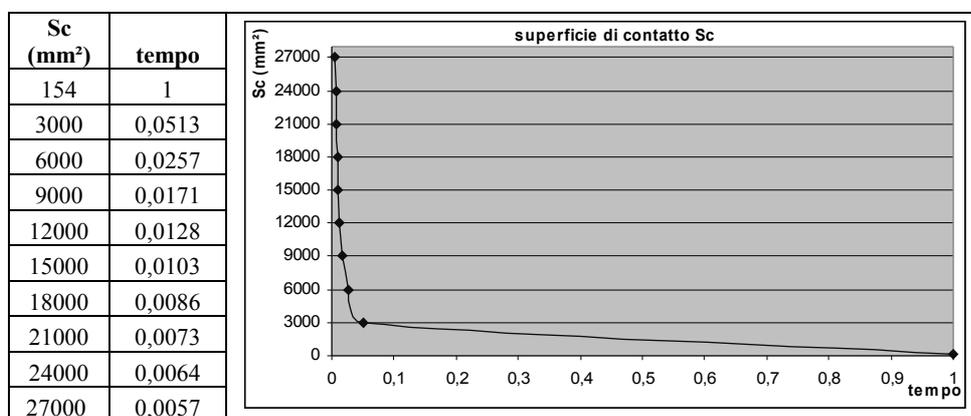


Tabella 4

Grafico 4

Lasciandolo a riposo, il sistema tenderà a ristabilire la separazione dei due strati. Questa volta però lo strato superiore avrà un colore tendente al rosso scuro, mentre quello inferiore si sarà parzialmente scolorito:

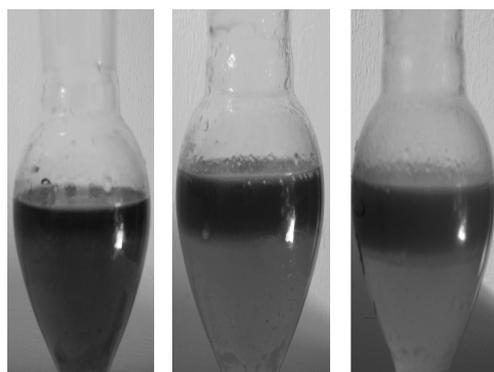


Se, adesso, con una pipetta Pasteur si preleva tutto lo strato oleoso superficiale e, al suo posto, si versa un ugual volume di olio, dibattendo allo stesso modo, si estrarrà altro iodio. Operando più volte, nel modo descritto, si potrà estrarre quasi completamente tutto lo iodio presente nella soluzione idroalcolica.

\* In effetti, c'è da considerare oltre alla superficie di contatto, anche la distanza che deve essere percorsa dalle particelle di iodio per arrivare a riempire tutto lo spazio a disposizione offerto dalla fase oleosa.

## Estrazione con solvente

Le seguenti figure illustrano quanto detto:



1^ estrazione    2^ estrazione    3^ estrazione

Si osservi che la soluzione idroalcolica sottostante, passando dalla prima alla terza estrazione, si decolora vieppiù. Fatta questa premessa, lavoriamo adesso con la tintura di iodio.

La tintura di iodio contiene il 7% m/V di iodio in una soluzione il cui solvente, in 100 cm<sup>3</sup> di tintura, è costituito da 93 cm<sup>3</sup> di alcol etilico e di acqua q.b. (soluzione idroalcolica indicata con il pedice ia), ovvero 70 mg di iodio per cm<sup>3</sup>. Se si aggiungono per ogni cm<sup>3</sup> della tintura 3 cm<sup>3</sup> di acqua distillata, si avrà nella soluzione diluita una concentrazione di iodio pari a 17,5 mg/cm<sup>3</sup>.

Se si ipotizza che il rapporto **K** (coefficiente di ripartizione) delle concentrazioni dello iodio nei due liquidi, **Co** in olio e **Cia** in acqua-alcol, sia 20, risulta

$$Co/Cia = 20$$

Prendendo 5 cm<sup>3</sup> della tintura di iodio diluita con acqua, essa conterrà una massa **Mia** = 87,5 mg di iodio. Aggiungendo 5 cm<sup>3</sup> di olio di oliva e dibattendo il miscuglio ottenuto, lo iodio si ripartirà tra i due liquidi secondo il supposto coefficiente di ripartizione, per cui possiamo scrivere, indicando con **Mo** la massa di iodio estratta dall'olio:

$$\begin{cases} Mia + Mo = 87,5 \\ Mo/5/Mia/5 = 20 \end{cases}$$

da cui si ricava  $Mo = 20 Mia$ .

Risolvendo il sistema algebrico ottenuto con il metodo delle sostituzioni, si avrà

$$Mia + 20 Mia = 87,5, \text{ cioè } Mia = 87,5/21 = 4,17 \text{ e } Mo = 87,5 - Mia = 83,33.$$

Si hanno dunque 83,33 mg di iodio nell'olio, mentre 4,17 mg di iodio sono rimasti nel solvente idroalcolico. Si ricavano, quindi i valori delle rispettive concentrazioni:  $Co = 16,67 \text{ mg/cm}^3$  nell'olio e  $Cia = 0,83 \text{ mg/cm}^3$  nella miscela idroalcolica, avendo ottenuto così un'estrazione pari a 95,24%.

Prelevando, adesso, lo strato di soluzione di iodio in olio con una pipetta Pasteur, e poi aggiungendo altri 5 cm<sup>3</sup> di olio, possiamo scrivere

$$Mia + 20 Mia = 4,17, \text{ ovvero } Mia = 4,17/21 = 0,20 \text{ e } Mo = 3,97$$

e le rispettive concentrazioni  $Cia = 0,040 \text{ mg/cm}^3$  e  $Co = 0,79 \text{ mg/cm}^3$ , con un'estrazione pari a 99,77%.

Operando come in precedenza e aggiungendo altri 5 cm<sup>3</sup> di olio, si avrà  $Mia = 0,20/21 = 0,0094$  e  $Mo = 0,19$  e le rispettive concentrazioni  $Cia = 0,0019 \text{ mg/cm}^3$  e  $Co = 0,038 \text{ mg/cm}^3$ . Dopo tre estrazioni rimangono nel solvente idroalcolico 0,0019 mg su 87,5 mg iniziali, e abbiamo ottenuto un'estrazione pari a 99,99%.

I risultati (teorici) del procedimento seguito sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 5

estrazioni	inizio	1 <sup>^</sup>	2 <sup>^</sup>	3 <sup>^</sup>	iodio totale
iodio in acqua-alcol (mg)	87,5	4,17	0,20	0,0094	
iodio in olio (mg)	0	83,33	3,97	0,19	<b>87,49</b>
C in acqua-alcol = Cia (mg/cm <sup>3</sup> )	17,5	0,83	0,040	0,0019	0,87
C in olio = Co (mg/cm <sup>3</sup> )	0	16,67	0,79	0,038	17,50
Co/Cia		20	20	20	20
% estrazione		95,24	99,77	<b>99,99</b>	

Dall'analisi dei dati consegue che una sola operazione non permette di eseguire un'estrazione completa, ma con più estrazioni si avrà un'estrazione quasi completa.

### Metodologia didattica

Sulla base di quanto esposto, agli studenti (tenendo conto della fascia scolare, di una classe terza media al finire dell'a.s. o di un biennio di un istituto superiore) si potrebbe far osservare il fenomeno dell'estrazione sia con dibattito del sistema che senza, usando liquidi facilmente reperibili (tintura di iodio in farmacia e olio di oliva o qualunque altro olio di semi) e, tramite una serie di domande, indurli operativamente e gradualmente a pervenire alle conclusioni sopra esposte:

1. Che cosa determina il dibattito?
2. Su quali fattori influisce il dibattito?
3. Quale osservazione permette di verificare qualitativamente che è avvenuta l'estrazione dello iodio da parte dell'olio?
4. In seguito all'osservazione del fenomeno, si può affermare, in termini qualitativi, che la solubilità dello iodio nei due liquidi sia la stessa? Perché?
5. Quale relazione c'è tra la distribuzione dello iodio tra le due fasi liquide e la diversa solubilità dello iodio in ciascuna di esse?
6. Per un dato valore presunto del coefficiente di ripartizione, si può valutare a estrazione avvenuta la quantità di iodio presente nella fase oleosa?
7. Se si toglie lo strato di olio con lo iodio estratto, cosa succede se si ripete l'estrazione?
8. Per estrarre la maggior parte di iodio dalla tintura conviene eseguire una o più estrazioni?
9. Tritando una foglia verde di un vegetale, con quale o quali delle seguenti sostanze liquide, acqua, acetone o metanolo, è possibile estrarne in maggiore quantità i pigmenti?

### Bibliografia

- 1) N.A. Lange, *Manuale di chimica*, USES, Fi, 1970
- 2) S. Glasstone, *Trattato di chimica-fisica*, Manfredi editore, Mi, 1963
- 3) F. Bagatti e altri, *Chimica*, Zanichelli, Fi, 1996

### Sitografia

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

# La multidisciplinarietà come opzione possibile per l'insegnamento delle scienze: l'aggiornamento degli insegnanti di scienze alla luce dell'esperienza di SPAIS

Paola Ambrogi\*, Michele A. Floriano\*\*, Elena Ghibaudi\*\*\*

\*ITIS "L. Nobili" Reggio Emilia;

\*\* Dip. Chimica Fisica, Università di Palermo;

\*\*\* Dip. Chimica IFM, Università di Torino

## Riassunto

*L'esperienza della edizione 2009 di SPAIS, Scuola Permanente per l'Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze, annualmente organizzata in Sicilia, viene analizzata attraverso il contributo dei suoi partecipanti, le loro risposte ai questionari, l'esito dei lavori di gruppo e le riflessioni emerse durante la Tavola Rotonda conclusiva. La scuola di aggiornamento ha fornito l'occasione per una riflessione corale sulla necessità di aggiornare la didattica delle scienze mediante l'inclusione delle nuove prospettive sperimentali e filosofiche della scienza contemporanea. Le modalità di aggiornamento dei docenti svolgono un ruolo centrale in questo processo, all'interno del quale l'approccio multidisciplinare viene individuato come un'opzione possibile di rinnovamento. L'articolo riporta anche le considerazioni critiche espresse dai docenti intervenuti a SPAIS nei confronti della riforma Gelmini in via d'attuazione, esaminata entro il quadro di idee sopra delineato.*

## Abstract

*The experience of the 2009 edition of SPAIS, Permanent School for the Updating of Science Teachers, yearly organized in Sicily, is here analyzed through the contributions of the participants, their answers to questionnaires, the output of group works and the comments come out during the final Round Table. The school provided the opportunity for a choral reflection on the need for renewing science teaching practices through the inclusion of the new philosophical and experimental perspectives typical of contemporary science. The way teachers are kept updated plays a crucial role in this process, whereinto the multidisciplinary approach is proposed as a possible choice of renewal. The article also reports the remarks and criticisms expressed by the participants to SPAIS towards the ongoing school reform, that has been analyzed within the above-outlined frame of ideas.*

## Introduzione

Uno dei principali problemi posti dall'insegnamento delle scienze è quello di restituire agli allievi un'immagine del mondo fisico rispondente agli sviluppi metodologici e concettuali della ricerca scientifica. Gli enormi progressi subiti dalle scienze negli ultimi decenni hanno contribuito a modificare sostanzialmente la nostra immagine della realtà fisica; ad es., gli sviluppi della biologia e del settore biochimico hanno consentito a queste discipline di rafforzare il proprio impianto concettuale e di confrontarsi alla pari con altre discipline, tradizionalmente considerate più rigorose. Ciò ha spalancato nuovi scenari e consentito la nascita di spazi di ricerca e di esplorazione fondati sull'intreccio e la collaborazione di ambiti un tempo rigorosamente separati. Evidentemente, come osserva Vincenzo Balzani [1], questo pone dei problemi di linguaggio e di mutua comprensione tra le discipline, ma non va stigmatizzato perché proprio le zone di confine interdisciplinare sono il luogo di nascita e di sviluppo di nuova conoscenza<sup>1</sup>.

La mutua interazione tra discipline costringe poi a ripensare anche il rapporto reciproco fra di esse e si sta lentamente traducendo in una nuova prospettiva, entro la quale la classica concezione gerarchica (e filosofica) secondo la quale "in principio era la matematica" e gli altri ambiti discendono da essa in direzione di una rigorosità decrescente (*matematica* → *fisica* → *chimica* → *biologia*), viene sostituita dall'idea di *cultura scientifica*, un habitat sociale in cui

1. "La scienza alle origini si occupava di tre branche fondamentali, Teologia, Legge e Scienze naturali, e gli scienziati un tempo si può dire che sapessero "quasi niente di quasi tutto". Col passare dei secoli la situazione è cambiata. La scienza si è diversificata e i confini dell'ignoto si sono estesi. Al giorno d'oggi, se uno scienziato vuol fare qualcosa di interessante deve concentrarsi in un campo specifico, deve specializzarsi, con la conseguenza di sapere "quasi tutto, ma di quasi niente". Questo accade perché si deve andare in profondità in campi molto specifici. Purtroppo succede poi che quando gli scienziati, che sanno "quasi tutto di quasi niente", vanno a parlare di quel quasi niente che è loro campo, spesso usano un linguaggio che quasi nessuno capisce perché troppo specializzato. Per esempio, oggi fanno fatica a capirsi tra loro anche fisici e chimici, che pur si occupano di scienze confinanti. Queste diversità non sono da stigmatizzare, anzi è bene che ci siano e che siano messe a confronto, perché il progresso della ricerca scientifica avviene proprio nelle zone di confine."

le discipline convivono e dialogano senza perdere la propria specifica individualità.

Stando così le cose, è evidente che “La comprensione degli allievi del grande fenomeno “scienza” passa anche attraverso la loro cognizione esatta delle relazioni che intercorrono fra le discipline scientifiche, matematica compresa” [2].

Tale approccio alla didattica delle scienze è caldeggiato anche da documenti ministeriali, che sottolineano la necessità di adottare una prospettiva complessa della realtà: “La sfida che la complessità prospetta alla scienza è soprattutto quella di esplorare e sviluppare il territorio dell’interdisciplinarietà, della multidimensionalità del reale, della complementarietà dei saperi. Nel nuovo paradigma della complessità, le diverse discipline si presentano come un sistema a rete, con correlazione e nodi multipli. In questo modo vengono superate tutte le chiusure disciplinari, tutte le dicotomie che finiscono per paralizzare la ricerca e per impedire la comprensione e la trasformazione della realtà.” [3].

Nel momento in cui si ammette questa nuova prospettiva come possibile e la si condivide, si impone la necessità di operare una profonda modifica delle pratiche didattiche nell’insegnamento delle scienze. E - se l’obiettivo è proporre agli allievi nuove prospettive in ambito scientifico - il punto di partenza devono essere proprio i docenti che quegli allievi sono chiamati a formare. Ne segue che anche l’aggiornamento dei docenti deve adeguarsi alle nuove esigenze, in particolare puntando a valorizzare la multidisciplinarietà come fonte di nuovi possibili spazi didattici.

La Scuola Permanente per l’Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze (SPAIS - <http://www.unipa.it/flor/spais.htm>), giunta ormai alla sua quarta edizione (e di cui è in preparazione la quinta) ed organizzata annualmente in Sicilia, si pone entro questa prospettiva, avendo fatto della multidisciplinarietà il proprio marchio costitutivo.

L’iniziativa è nata dalla convinzione dell’importanza di creare occasioni in cui docenti appartenenti ad ambiti disciplinari differenti possano convivere e confrontarsi. Questo essenzialmente per due ragioni: i) il confronto permette di evidenziare problematiche didattiche comuni alle diverse discipline e crea le condizioni per la ricerca di soluzioni nuove e originali; ii) se la scienza viene concepita come *habitat sociale* delle discipline, allora è fondamentale che i docenti siano informati non soltanto sui progressi conoscitivi che investono il proprio settore disciplinare di stretta competenza, ma anche sui campi attigui.

Quest’ultimo aspetto è stato particolarmente valorizzato da SPAIS, il cui impianto si fonda sull’intervento di relatori appartenenti ad ambiti disciplinari diversi intorno ad un tema comune che varia di anno in anno. Inoltre, persuasi della necessità di uno sforzo volto al superamento delle barriere ancora esistenti tra le due culture (umanistica e scientifica), gli organizzatori di SPAIS hanno iniziato a porre particolare cura nell’includere contributi provenienti dalla sfera filosofica/epistemologica e da quella artistica.

L’idea di fondo è quella di valorizzare un concetto di scienza, in cui l’integrazione delle discipline non sia un’operazione ragionieristica, che toglierebbe dignità e peculiarità individuali ai diversi ambiti, ma piuttosto un mutamento di prospettiva mirato all’integrazione dei saperi attraverso il confronto di linguaggi diversi.

L’esperienza di SPAIS ed i riscontri ricevuti dai partecipanti consentono di affermare che questo particolare orientamento è gradito e fecondo. A sostegno di queste considerazioni, illustreremo alcuni aspetti dell’edizione 2009 di SPAIS, attraverso l’esito dei lavori di gruppo, le riflessioni emerse nel corso della tavola rotonda conclusiva e le risposte ai questionari d’ingresso e di uscita che sono stati sottoposti ai partecipanti alla scuola.

### SPAIS 2009: “Il tempo nella scienza, la scienza nel tempo”

La quarta edizione di SPAIS si è svolta ad Agrigento dal 27 al 31 luglio 2009 ed ha visto la partecipazione di 51 iscritti residenti e 7 non residenti, provenienti da varie regioni italiane.

Lo spettro disciplinare dei partecipanti è illustrato in Figura 1.

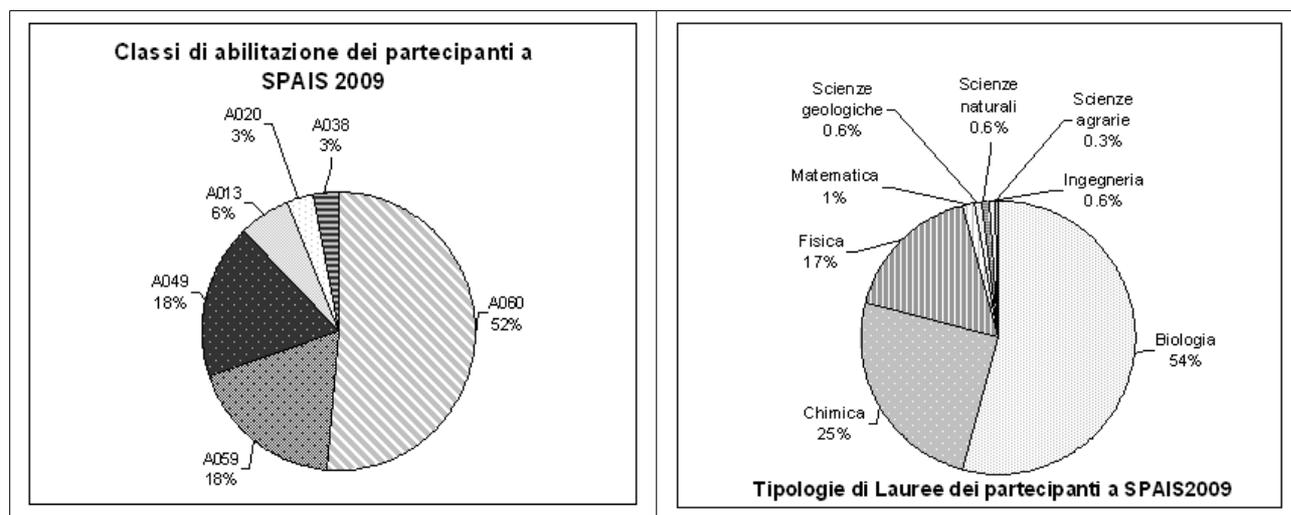


Figura 1 – Una fotografia della distribuzione disciplinare degli iscritti a SPAIS 2009

## L'aggiornamento degli insegnanti di scienze alla luce dell'esperienza di SPAIS

Il tema dell'edizione 2009 è stato "Il tempo nella scienza, la scienza nel tempo"; quest'argomento è stato trattato in chiave multidisciplinare; ciò ha consentito di esplorare il concetto di tempo in fisica, biologia, chimica, musica, scienze della terra, filosofia, storia della scienza, come si può evincere dai nomi dei relatori e dai titoli delle comunicazioni riportati in Tabella 1.

**Tab. 1** – I Relatori ed i titoli delle presentazioni orali di SPAIS 2009

<b>Relatori</b>	<b>Titoli delle lezioni</b>
Prof. Valerio Agnesi (Università di Palermo)	Dal tempo biblico al tempo geologico
Prof. Rosolino Buccheri (Università di Palermo) e Prof. Marina Alfano (Conservatorio di Ferrara)	I modi della temporalità tra ratio e relatio
Prof. Fabio Caradonna (Università di Palermo)	Dinamica dei processi evolutivi; Origine ed evoluzione dei genomi: dal brodo primordiale al DNA umano
Prof. Paolo De Bernardis (Università di Roma "La sapienza")	13.7 miliardi di anni: il tempo e l'età dell'universo; 13.7 miliardi di anni: l'universo primordiale e l'inizio del tempo
Prof. Giuseppe Gembillo (Università di Messina) -	L'irrompere del tempo nelle scienze
Prof. Rosario Iaria (Università di Palermo) –	La morte di una stella, la morte di una stella morta e la sua rinascita
Prof. Gianmarco Ieluzzi (Università di Torino) –	Una storia per immagini; Scienziati nelle pieghe del tempo
Prof. Mariano Venanzi (Università di Tor Vergata)	I tempi delle molecole
Prof. Giovanni Villani (IPCF – CNR Pisa)	Il ruolo del tempo nei sistemi chimici
Prof. emerito Carlo Bernardini (Università di Roma "La sapienza")	La relatività: dai mille dubbi iniziali all'accettazione totale

Trattandosi di un'iniziativa indirizzata a docenti della scuola, ci è parso irrinunciabile prevedere anche momenti di discussione collettiva, nella formula di lavori di gruppo e di dibattito. Un pomeriggio è stato dunque dedicato al tema "Che genere di scienza. Passato e presente" con lo scopo di illustrare l'evoluzione della condizione femminile ed i problemi di genere nel campo dell'istruzione e della ricerca scientifica. Vi hanno partecipato la Prof.ssa Vita Fortunati (Università di Bologna), la Prof. Stella Bertuglia (supervisore SIS - Università di Palermo), oltre a Paola Ambrogi ed Elena Ghibaudi. Queste ultime hanno poi coordinato un secondo momento d'incontro intorno al tema "Il tempo nella scuola", un'occasione per discutere con i partecipanti a SPAIS 2009 della recente riforma della scuola secondaria e delle nuove tabelle orarie ministeriali.

Ci pare interessante riportare brevemente gli esiti della discussione, nella convinzione che le reazioni dei partecipanti a SPAIS 2009 rappresentino un buon "indicatore" delle posizioni dei docenti della scuola rispetto alla riforma. Dopo aver illustrato alcuni aspetti della riforma Gelmini (attraverso il confronto fra le vecchie e le nuove tabelle orarie, una comparazione tra attuali e future classi concorsuali d'abilitazione e il nuovo assetto per Licei ed Istituti Tecnici), le coordinatrici hanno invitato i partecipanti a organizzarsi in gruppi, per discutere e confrontarsi sul nuovo panorama che si sta delineando per l'insegnamento delle scienze. Le riflessioni e le domande scaturite durante la discussione sono state riproposte in sessione plenaria. In generale, sono stati percepiti segnali di grande preoccupazione rispetto all'idea di scuola che si intende perseguire e alle ricadute che essa potrà avere sulle generazioni in formazione.

Tra le criticità segnalate con maggior enfasi, vi è la complessiva diminuzione del monte-ore per le discipline scientifiche, riscontrabile in quasi tutti gli ordini di scuole, in aperta contraddizione con gli intenti dichiarati della riforma. Da parte dei docenti, tale fatto è stato correlato ad una svalutazione del valore culturale della scienza, a favore di una concezione tecnologica della medesima (un saper fare, piuttosto che un sapere *tout court*). Strettamente connesso a questi problemi è apparso anche il nodo rappresentato dalla soppressione delle sperimentazioni: infatti, in nome di un pur necessario riordino, la riforma prevede la cancellazione acritica di tutti gli esperimenti didattici intrapresi in questi

anni, inclusi quelli che hanno prodotto risultati positivi. In questa decisione sono stati riscontrati gli elementi di un vero e proprio arretramento culturale ed è stato rilevato il pericolo di disperdere un patrimonio di esperienze e di ricerca didattica, che pure rientra tra i compiti dell'istituzione scolastica. Incomprensibile ai docenti di scienze è apparso poi il taglio delle ore di laboratorio, che non è stato ritenuto compatibile con il dichiarato perseguimento di una migliore conoscenza della cultura scientifica, entro la quale la centralità delle attività pratico-teoriche come momento di verifica del sapere teorico appare innegabile.

Grande enfasi è stata posta sulla mancanza di attenzione al “*tempo di apprendimento*” dell’alunno, associata all’aggravante della eccessiva numerosità delle classi. E’ stato osservato che difficilmente un allievo, inserito in un contesto-classe con oltre 30 compagni, riuscirà a seguire le lezioni con la dovuta “concentrazione/attenzione” ed in tale contesto avrà pochissime possibilità di recuperare eventuali gap di apprendimento nell’ambito dell’ambiente classe. Esiste dunque un problema di qualità dell’apprendimento.

In quest’ottica assumono fondamentale importanza il criterio di selezione dei docenti, la riorganizzazione delle classi di concorso e l’aggiornamento degli stessi sia sul piano metodologico che sul piano culturale: più voci hanno sottolineato l’importanza di favorire e agevolare un reale aggiornamento dei docenti di ogni ordine e grado, attraverso la partecipazione a convegni e corsi di formazione. Ciò implica l’impossibilità di realizzare riforme a costo zero e la necessità di stanziare risorse mirate a questo compito specifico.

Infine, un aspetto accolto in modo critico, ma non negativo, è risultato quello della riorganizzazione dei saperi in un’ottica che privilegi le competenze. I docenti hanno riconosciuto la necessità di una maggiore integrazione tra le discipline scientifiche, in linea con l’approccio interdisciplinare alla realtà, ma ritengono prioritario trovare una formula che salvaguardi la specificità culturale di ognuna, pena un approccio didattico superficiale ed inefficace.

Pare ovvio che il continuo accumulo delle conoscenze rende necessaria un’operazione di selezione dei contenuti da approfondire; ma essa deve conciliare la pur necessaria dimensione storica con l’esigenza di non trascurare le acquisizioni scientifiche dell’epoca più recente. Secondo i partecipanti a SPAIS 2009, un ruolo-chiave in questa ridefinizione dei contenuti programmatici di riferimento dovrebbe essere svolto dalle associazioni disciplinari; non meno centrale è però la scelta del singolo docente.

In definitiva, pur riconoscendo che la riforma presenta alcuni spunti interessanti e pur concordando con la necessità di perseguire una politica di migliore gestione delle spese, ovvero di minimizzazione degli sprechi, i partecipanti di SPAIS 2009 hanno ribadito l’inconciliabilità di un auspicabile riassetto della scuola con esigenze contabili di corto respiro<sup>2</sup>.

Desideriamo ora riportare le risposte fornite dai docenti ad alcune domande contenute nei questionari loro sottoposti, in ingresso ed in uscita da SPAIS 2009.

I docenti sono stati interpellati sull’adeguatezza delle ore di insegnamento a disposizione per ogni classe, in rapporto ai contenuti da affrontare (Figura 2). Alla domanda “Ritieni di disporre di un numero adeguato di ore settimanali per lo svolgimento delle tue lezioni?” la maggioranza dei docenti ha risposto negativamente, giustificando la propria risposta come indicato in Figura.

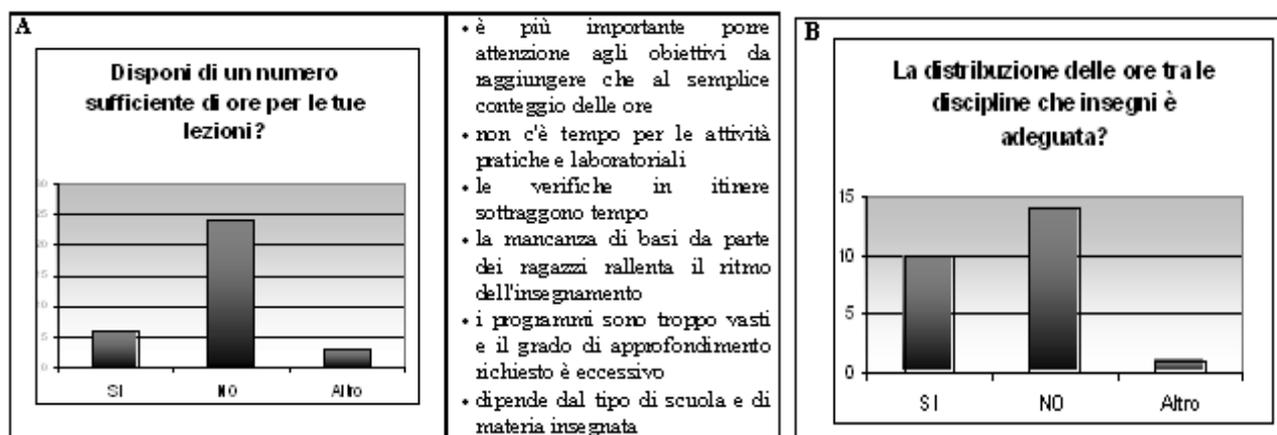


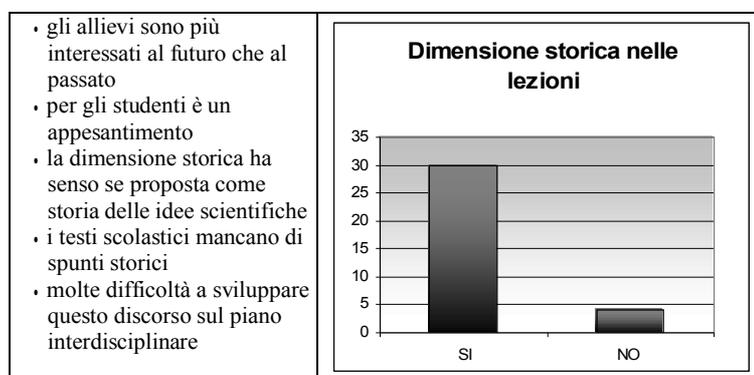
Figura 2 – Il parere dei docenti sull’adeguatezza delle ore di insegnamento a propria disposizione

2. Queste posizioni hanno trovato espressione in un appello redatto dalle associazioni disciplinari AIF, ANISN e DD-SCI in difesa dell’educazione scientifica, disponibile sul sito web della DD-SCI (<http://www.didichim.org/?q=node/149>)

## L'aggiornamento degli insegnanti di scienze alla luce dell'esperienza di SPAIS

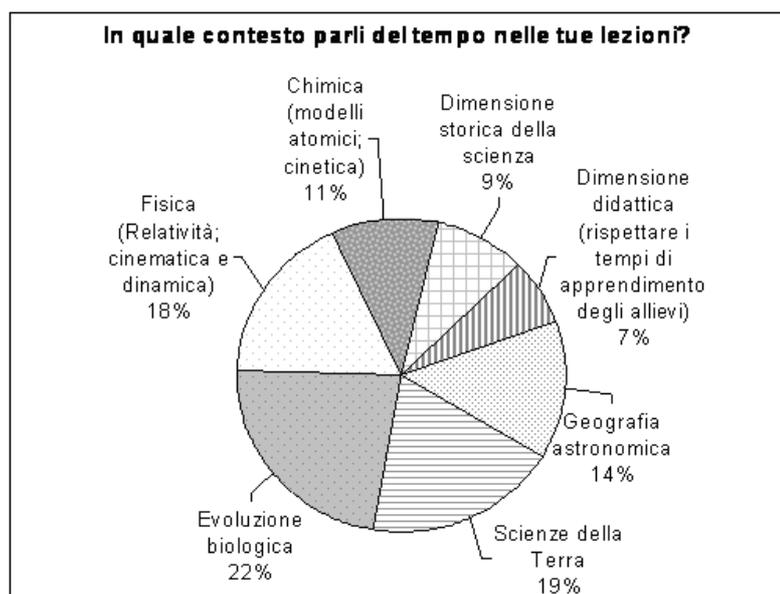
Nel complesso, abbiamo riscontrato insoddisfazione sia relativamente al numero di ore a disposizione che alla distribuzione di tali ore fra le diverse materie insegnate dal singolo docente.

Il tema della “scienza nel tempo” rimanda inevitabilmente alla dimensione storica delle scienze. Pertanto è stato chiesto ai docenti se dedicassero spazio alla storia delle scienze nelle loro lezioni disciplinari o se avessero mai pensato di utilizzare la dimensione storica delle scienze come strumento didattico per l’educazione alla scienza. Molti hanno risposto affermativamente, ma sono state evidenziate anche delle criticità, riassunte in Figura 3: alcuni docenti temono che ciò comporti un appesantimento del contenuto delle lezioni.



**Figura 3** – L’utilità della dimensione storica nell’insegnamento delle scienze e le criticità ad essa correlate.

Il carattere multiforme e complesso del tema del tempo, che era il leit-motiv di SPAIS 2009, è poi emerso attraverso la varietà di contesti e di prospettive attraverso le quali viene affrontato nelle lezioni (Figura 4).



**Figura 4** – Il tema del tempo e la sua relazione con l’insegnamento delle scienze

A questo proposito, ci pare opportuno riportare alcune delle riflessioni elaborate nel corso della Tavola Rotonda conclusiva di SPAIS. Secondo G. Gembillo, l’insegnamento della scienza è ancora troppo legato a presupposti metafisici tipici del pensiero di Cartesio, Leibniz, Kant, ovvero ad una visione atemporale ed eterna dell’universo che era tipica della scienza classica, ma che oggi è ampiamente superata. La scienza moderna, ed in particolare la scienza del ‘900, scopre la soggettività e con essa il tempo (due temi indissolubilmente correlati), modificando così in modo irreversibile la propria percezione del mondo [4]. La dimensione temporale, che rappresenta la novità della scienza del ‘900 - osserva poi G. Villani - non è ancora stata introdotta nella didattica delle scienze, nonostante dati ormai di un secolo. Villani sottolinea la necessità e l’urgenza che l’insegnamento delle scienze si appropri del ‘900 e dei nuovi presupposti metafisici della scienza contemporanea e suggerisce una possibile via per questa operazione.

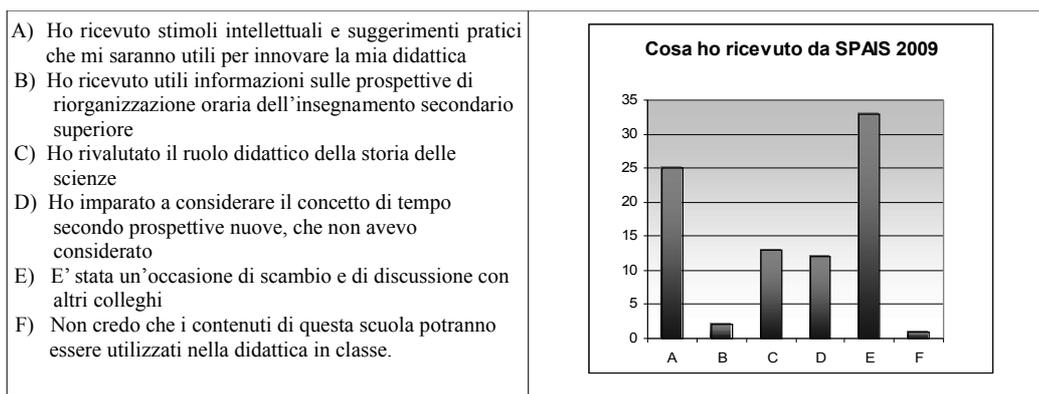
Secondo Villani, il concetto di sistema può essere la chiave attraverso la quale sottolineare la natura discontinua della realtà, che si struttura e si organizza per livelli di complessità crescenti, inter-correlati fra loro [5]. Questo approccio, secondo Villani, ha il merito di ridisegnare in modo originale e non gerarchico anche i rapporti tra discipline quali Fisica, Chimica e Biologia, secondo quella prospettiva alla quale si accennava in apertura di articolo.

E' ancora Gembillo a suggerire che questo rinnovamento didattico debba passare attraverso il pagamento di quella che Edgar Morin chiama la "decima epistemologica", ovvero l'impegno da parte di coloro che sono chiamati a produrre (gli scienziati) e a trasmettere (i docenti) le conoscenze scientifiche a dedicare parte dei propri sforzi alla riflessione metodologica sulle pratiche conoscitive della scienza stessa. Questo tema potrebbe e dovrebbe trovare spazio nei corsi di aggiornamento per gli insegnanti.

Abbiamo infine rivolto ai partecipanti alcune domande mirate a comprendere le aspettative dei partecipanti a SPAIS e ad intercettare eventuali problematiche specifiche da dibattere in questa o in altre edizioni della Scuola. E' emerso con chiarezza il desiderio di confrontarsi su aspetti molto concreti della didattica, che spaziano dagli strumenti informatici disponibili alla valorizzazione delle attività laboratoriali come momento di apprendimento. Le risposte si possono schematizzare nei seguenti punti:

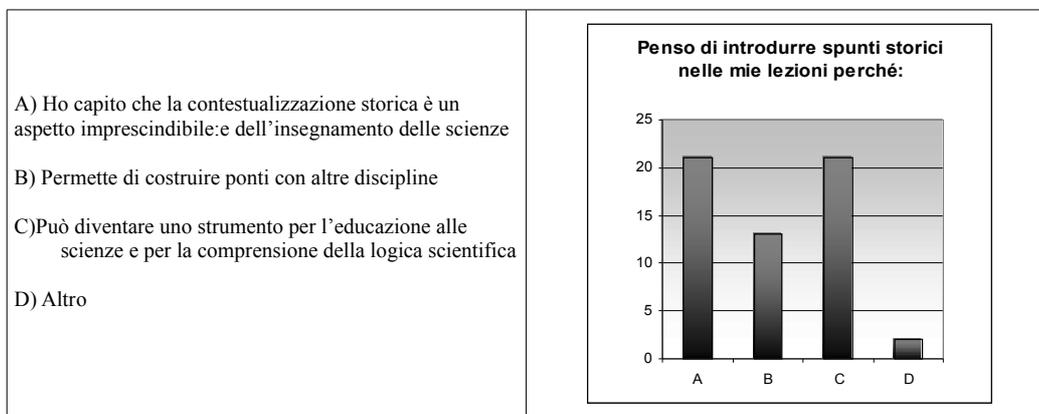
Software per la didattica
Pedagogia pratica e non astratta
Rapporto tra metodologie e contenuti
Discutere il senso di fare scienze con i giovani; come appassionare i giovani alla scienza
La valenza didattica dell'attività laboratoriale

Le risposte al questionario d'uscita testimoniano che il grado di soddisfazione dei partecipanti è risultato elevato e che molte aspettative sono risultate soddisfatte, come risulta dal grafico riportato in Figura 5.



**Figura 5** – Il bilancio di SPAIS 2009 secondo i partecipanti

Gli interventi di carattere storico ed epistemologico proposti da SPAIS sembrano aver contribuito ad una acquisizione di consapevolezza rispetto alla valenza didattica della dimensione storica del tempo. Infatti, molti partecipanti a SPAIS si sono dichiarati disponibili ad introdurre (o ampliare) lo spazio dedicato all'approccio storico, adducendo le motivazioni riportate in Figura 6.



**Figura 6** – Motivazioni per valorizzare l'approccio storico alle scienze

## L'aggiornamento degli insegnanti di scienze alla luce dell'esperienza di SPAIS

Inoltre, la maggior parte di essi ha dichiarato di voler modificare il modo in cui affronta il tema del tempo nelle proprie lezioni (Figura7), come conseguenza degli stimoli ricevuti ("ho acquisito una visione d'insieme/nuovi punti di vista/nuovi stimoli"). Tra le motivazioni, il fatto che la storicizzazione fa comprendere meglio le tematiche ed i problemi scientifici ed è un tema sottovalutato.



Figura 7 – SPAIS ha modificato la visione del tempo nei docenti di scienze

Abbiamo infine rivolto agli iscritti una serie di domande sulla qualità dell'organizzazione di SPAIS2009, che ha ricevuto riscontri positivi. Complessivamente, le aspettative dei corsisti sono risultate soddisfatte e molti di loro hanno dichiarato di voler ripetere l'esperienza della Scuola.

Uno degli aspetti più interessanti emersi dalle risposte ai questionari è stata la richiesta di dedicare spazio alla discussione di aspetti "pratici" dell'attività didattica: si tratta di un'esigenza molto sentita e diffusa sul territorio, dal momento che anche i docenti partecipanti ad altri corsi d'aggiornamento in servizio (ad es. PLS – Progetto Lauree Scientifiche) [6] hanno manifestato il medesimo interesse per "spunti didattici utili relativamente ai contenuti o alle metodologie".

Una seconda richiesta ha riguardato le attività che prevedevano un coinvolgimento attivo dei partecipanti alla scuola, ovvero discussioni collettive e lavori di gruppo. Questa modalità di lavoro è stata giudicata irrinunciabile e gli iscritti a SPAIS ne hanno auspicato un potenziamento e una rimodulazione, magari utilizzando formule alternative. E' dunque in progetto di introdurre una sessione poster, che consenta ai partecipanti di esporre pubblicamente esperienze didattiche particolarmente significative, delle quali siano stati coordinatori.

Il feedback ricevuto dai partecipanti a SPAIS 2009 verrà tenuto in considerazione nella preparazione dell'edizione 2010 della Scuola, con l'obiettivo di proseguire il processo di implementazione e di arricchimento dell'iniziativa alla luce delle esperienze pregresse e di un approccio alla didattica pragmatico ed innovativo, che è sempre stato un carattere precipuo di questa Scuola.

### Bibliografia

- [1] Balzani V. "Leggere, scrivere, ricordare con le molecole", in *Dialoghi sulla Memoria* (G. Fiorentini, ed.) (2009) UnifePress, pp.73-84
- [2] Cerruti L., *La Chimica nella Scuola* (2004) Anno XXVI, n°2 p. 37-44
- [3] Ministero della Pubblica Istruzione, *Commissione ministeriale per la riorganizzazione degli Istituti Tecnici e Professionali, Documento finale*, Roma, 3 marzo 2008
- [4] Per un approfondimento di questo tema rimandiamo al testo di G. Gembillo, *Benedetto Croce. Filosofo della complessità* (2006) Rubbettino (Soveria Mannelli, CZ)
- [5] Questo tema è affrontato dallo stesso G. Villani nell'articolo a sua firma, comparso su *La Chimica nella Scuola* (2009) Anno XXXI, n°2, 109-114 ed è ampiamente sviluppato nel testo *Complesso e organizzato* (2008) Franco Angeli Ed., del medesimo autore
- [6] Battistuzzi G., Zanolì R., Ambrogi P., Malavasi G., Bellei M. *PLS atti del convegno New trends in Science and technology education*, Modena, aprile 2009

# Evoluzione dei sistemi: modelli e rappresentazioni

Ezio Roletto\* Alberto Regis, Marco Ghirardi\*, Cecilia Giordano

SENDS - Storia ed Epistemologia per una Nuova Didattica delle Scienze - Università di Torino

## 1. Sistemi e trasformazioni

Il complesso di proprietà definite per studiare un insieme limitato di fenomeni, ossia una porzione di realtà, viene chiamato *sistema*. In ogni particolare momento, lo *stato del sistema* è individuato dai valori assunti dalle grandezze fisiche che costituiscono le *variabili di stato* del sistema. Se i valori di una o più grandezze fisiche del sistema mutano nel corso del tempo, allora cambia lo stato del sistema che passa da uno *stato iniziale* a uno *stato finale*: è avvenuta una “evoluzione del sistema”.

Si possono individuare porzioni di materia che vengono definiti “corpi puri” o “sostanze”. Ogni sostanza, così come si presenta in condizioni stabilite (di temperatura e di pressione), è dotata di proprietà fisiche e chimiche peculiari che ne definiscono l’identità (per esempio la composizione chimica, la densità e l’indice di rifrazione, la durezza e la solubilità). Altre caratteristiche che consentono di individuare l’identità di una sostanza fanno riferimento a valori costanti che assumono certe grandezze in opportune condizioni di cambiamento, per esempio le temperature di fusione e di ebollizione. Sulla base di ciò che cambia (*variante*) e ciò che non cambia (*invariante*) nel corso dell’evoluzione di un sistema, è possibile stabilire la seguente distinzione:

1. L’evoluzione di un sistema in cui l’identità delle sostanze coinvolte si conserva prende il nome di *trasformazione fisica*. Per esempio, nel corso del processo di fusione in cui il ghiaccio (corpo solido; stato iniziale) si trasforma in acqua liquida (corpo liquido; stato finale), la sostanza “acqua” che costituisce il sistema conserva la propria identità. Il variante è lo *stato fisico* della sostanza, mentre l’invariante è l’*identità* della sostanza.
2. L’evoluzione di un sistema nel corso della quale vengono generate una o più sostanze che prima non erano presenti prende il nome di *trasformazione chimica*. Lo stato iniziale è caratterizzato dalla presenza di sostanze dette “reagenti”, mentre lo stato finale è caratterizzato dalla presenza di altre sostanze dette “prodotti”; le sostanze iniziali interagiscono dando origine ai prodotti. Il variante è l’*identità delle sostanze*, mentre l’invariante è l’*identità degli elementi*.

L’evoluzione di qualsiasi sistema può essere descritta come una successione di stati per i quali esso passa nel corso della sua trasformazione dallo stato iniziale a quello finale, ogni stato essendo caratterizzato dai valori di alcune variabili. In particolare, per i sistemi nei quali avvengono trasformazioni chimiche, sono importanti le quantità delle sostanze reagenti e di quelle prodotte.

## 2. Campi e livelli di interpretazione

I sistemi, così come le procedure operative, appartengono al *campo empirico* al quale afferiscono i *fatti* che la scienza descrive e interpreta, gli *apparati sperimentali* che essa progetta e utilizza e le *operazioni* che essa compie. I modelli e i concetti – necessari per descrivere e interpretare il mondo della natura – appartengono al *campo teorico*, all’interno del quale coesistono sia i modelli macroscopici sia quelli microscopici. La rappresentazione del mondo della natura tramite i modelli, sia macroscopici sia microscopici, si avvale di *segni grafici*, mediante i quali si possono produrre rappresentazioni *verbali* (in cui i fenomeni vengono descritti utilizzando le parole del linguaggio comune o dei linguaggi settoriali), rappresentazioni *iconiche* (in cui si utilizzano segni di varie forme e dimensioni) e rappresentazioni *simboliche* (in cui si utilizzano, per esempio, simboli chimici per rappresentare sostanze, atomi, molecole, ioni, elementi, ecc).

Le trasformazioni di un sistema – di per sé appartenenti al campo empirico – possono essere descritte e interpretate utilizzando sia modelli macroscopici sia modelli microscopici. Il concetto di *sostanza* appartiene al livello macroscopico; quindi l’uso di tale concetto per distinguere le trasformazioni fisiche da quelle chimiche implica il ricorso a un modello macroscopico. Ma per interpretare le trasformazioni fisiche e chimiche è possibile utilizzare i concetti di atomo e molecola che implicano il ricorso a un modello microscopico. La singolarità del “modo di pensare del chimico” è data dal continuo va-e-vieni tra i due livelli di descrizione e interpretazione della realtà; sfortunatamente questo continuo passaggio costituisce una delle maggiori difficoltà incontrate dagli studenti nell’apprendimento della chimica.

\* ezio.roletto@unito.it

\* Istituto Tecnico Industriale Statale “Quintino Sella”. Biella.

1. Il riconoscimento dello *stato fisico* di un sistema – da non confondere con il concetto di *stato del sistema* – dipende da proprietà quali *forma*, *volume* e *comprimibilità* di un corpo, al quale potrà essere attribuito lo stato solido, liquido o aeriforme. Se cambia il valore di una o più grandezze che caratterizzano il sistema (ad esempio pressione o temperatura), cambia lo stato del sistema, ma non è detto che muti lo stato fisico del corpo.

### 3. Le trasformazioni chimiche

Per introdurre il concetto di trasformazione chimica, si può proporre agli studenti il sistema costituito da cloruro di piombo (II) e ioduro di potassio. Quando queste due sostanze vengono fatte interagire tra loro a secco in modo opportuno, per esempio mescolandole in un mortaio con un pestello, si percepisce visivamente la formazione di una nuova sostanza di colore giallo, assente dal sistema iniziale, che risulta essere ioduro di piombo (II). Il fenomeno può essere descritto e interpretato in modi diversi a seconda che ci si limiti al campo empirico oppure si passi al campo teorico.

*Campo empirico* – Nell’ambito del campo empirico, constatando la comparsa di qualche cosa di colore giallo, si può ammettere che sia avvenuta una trasformazione. In questa sede, ci si deve riferire unicamente ai fatti senza caratterizzarli con ulteriori descrizioni che possano sconfinare nel campo teorico. Quindi, una prima descrizione dei fatti potrebbe essere la seguente:

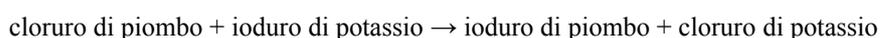
*Due polveri di colore bianco sono mescolate a secco in un mortaio con un pestello. In seguito a questa operazione, fa la sua comparsa una polvere di colore giallo.*

In questa descrizione del processo si ricorre alle sole nozioni di polvere e colore che non sono specifiche della chimica o delle scienze in generale; quindi, una descrizione così poco *intrisa di teoria* può essere ritenuta una semplice descrizione di un fatto e non una rappresentazione mediante un modello scientifico. Infatti, un modello è costituito da un insieme di proposizioni che indicano come gli scienziati si rappresentano sia la realtà, e ha alle spalle una teoria scientifica strutturata che lo rende possibile e intelligibile.

*Campo teorico: livello macroscopico* – Nell’ambito del campo teorico, è necessario utilizzare il concetto di sostanza per descrivere la trasformazione e offrirne una prima interpretazione. Quindi, ci si potrà esprimere come segue:

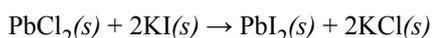
*Una piccola quantità della sostanza cloruro di piombo è mescolata, in un mortaio e usando un pestello, con una piccola quantità della sostanza ioduro di potassio. Si formano la sostanza ioduro di piombo, di colore giallo, e la sostanza cloruro di potassio, di colore bianco. La trasformazione è di tipo chimico perché le sostanze inizialmente presenti nel sistema interagiscono dando origine a nuove sostanze.*

Il passaggio dallo stato iniziale allo stato finale del sistema è chiamato *trasformazione chimica* perché, essendo comparsa almeno una sostanza che prima non era presente, si constata la modificazione dell’identità delle sostanze costituenti inizialmente il sistema. Mediante il linguaggio chimico si può fare un resoconto qualitativo delle sostanze presenti inizialmente e di quelle presenti dopo che si è prodotto il cambiamento. La trasformazione chimica può essere rappresentata con simboli verbali:



La descrizione e l’interpretazione della trasformazione chimica si basano su saperi chimici che sono lo sbocco di processi di concettualizzazione e di astrazione precedenti (sostanze, miscele, termini chimici, ecc.); si tratta di saperi che sono ormai entrati a far parte delle conoscenze quotidiane e quindi non sono più percepiti come costruzioni mentali, ma vengono utilizzati come se si trattasse della realtà.

*Campo teorico: livello microscopico* – Per descrivere e interpretare le trasformazioni chimiche a livello microscopico si ricorre al modello di *reazione chimica*. Questo implica [1] che si distingua fra trasformazione chimica, che è il fenomeno, e reazione chimica che è il modello mediante il quale di tale fenomeno si producono rappresentazioni chiamate *schemi di reazione*<sup>2</sup>. Le specie chimiche coinvolte nel processo vengono rappresentate mediante il linguaggio simbolico chimico e le trasformazioni chimiche vengono interpretate come processi di riorganizzazione degli atomi; ciò spiegherebbe come mai – a livello macroscopico – le sostanze di partenza interagiscano dando origine a nuove sostanze. In tali processi, sono gli elementi a conservare la propria identità. Lo schema di reazione che rappresenta la trasformazione chimica è:



Affinché la scrittura di questo schema di reazione sia compresa, è necessario che sia già acquisita l’idea di discontinuità della materia. Per esempio, i cambiamenti di stato fisico possono essere modellizzati con un modello particellare semplice nel quale si postula che le particelle siano indivisibili e indeformabili. Il modello è costituito da una serie di regole, applicando le quali è possibile produrre, usando opportuni simboli, rappresentazioni iconiche dei sistemi studiati. Però il modello risulta inadeguato per interpretare le trasformazioni chimiche. Nel sistema che è stato preso in

2. Spesso si usa l’espressione inappropriata «equazione chimica».

considerazione, a seguito dell'interazione tra cloruro di piombo (II) e ioduro di potassio, si ha la percezione visiva della formazione di una nuova sostanza, assente dal sistema iniziale, che risulta essere ioduro di piombo (II).

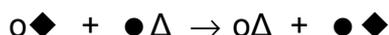
Questa nuova sostanza di colore giallo che si è formata è costituita da due specie chimiche presenti nelle due sostanze reagenti: la specie chimica *ioduro*, presente nello ioduro di potassio; la specie chimica *piombo (II)*, presente nel cloruro di piombo (II). Quindi la nuova sostanza che si forma nella trasformazione chimica non è una sostanza qualsiasi, ma una sostanza costituita da due specie chimiche già presenti nelle sostanze iniziali del sistema. Dal punto di vista del modello particellare, questo significa che l'assioma "le particelle sono indivisibili" non è più accettabile come regola del modello e deve essere sostituito con un nuovo assioma: "le particelle che costituiscono le sostanze sono divisibili, poiché sono costituite da altre particelle". Questa modifica non inficia l'uso del modello particellare per interpretare le trasformazioni fisiche. Infatti la regola non impone che le particelle si dividano in tutte le trasformazioni, ma riconosce la possibilità di ammettere la divisione per interpretare certe trasformazioni della materia.

Per interpretare, a livello microscopico, le trasformazioni chimiche occorre dunque postulare la divisibilità delle particelle: solo così si riesce a spiegare la formazione di nuove sostanze con l'accorpamento di "parti" provenienti dalle sostanze di partenza. Si dovrebbe allora distinguere tra le particelle più grandi (quelle che restano inalterate e indivisibili nelle trasformazioni fisiche) e le particelle più piccole (quelle che costituiscono le particelle più grandi e che si separano nei processi chimici per ricombinarsi in nuove sostanze, ossia in nuove particelle più grandi). Per uscire da queste difficoltà interpretative, i chimici indicano con il termine *molecola* le particelle più grandi e con il termine *atomo* le particelle più piccole che costituiscono le molecole.

Una modellizzazione è possibile allora mediante il modello particellare. Facendo ricorso a una simbologia di tipo iconico, si può stabilire che:



Di conseguenza, si può rappresentare l'evoluzione del sistema in questo modo.



Quando poi si modella la trasformazione chimica mediante la reazione chimica, nello schema di reazione i simboli iconici vengono sostituiti dai simboli chimici. L'interpretazione della trasformazione chimica tramite gli schemi di reazione può dunque essere introdotta in classe anche senza aver affrontato il modello dell'atomo e i legami chimici, ma già subito dopo che gli allievi si sono impadroniti dei concetti di atomo e molecola e dei rapporti di combinazione nelle sostanze composte, in modo da rendere più rigoroso e appropriato il linguaggio chimico utilizzato. Si rimanderà la giustificazione della riorganizzazione degli atomi a un momento successivo, vale a dire dopo avere affrontato la struttura dell'atomo e i legami chimici.

Le idee espresse in precedenza possono essere sintetizzate nelle seguenti formulazioni di riferimento:

- *I sistemi sono soggetti a cambiamenti, denominati trasformazioni, che implicano il passaggio del sistema da uno stato iniziale a uno stato finale.*
- *Una trasformazione può essere fisica o chimica.*
- *In una trasformazione fisica, le sostanze costituenti il sistema conservano la propria identità.*
- *In una trasformazione chimica, il sistema evolve dalle sostanze iniziali (reagenti) alle sostanze finali (prodotti); le sostanze iniziali interagiscono dando origine a nuove sostanze.*
- *Occorre distinguere fra trasformazione chimica e reazione chimica.*
- *La trasformazione chimica è il fenomeno che si produce a livello macroscopico.*
- *A livello microscopico, la trasformazione chimica può essere modellizzata mediante la reazione chimica.*
- *Utilizzando il linguaggio simbolico della chimica, le trasformazioni chimiche sono rappresentate a livello microscopico tramite gli schemi di reazione.*

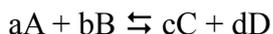
Si potrebbe pensare che la distinzione fra *trasformazione chimica* e *reazione chimica* sia una sottigliezza filosofica, nata dal piacere di "spaccare il capello in quattro", ma non è così. In primo luogo, la distinzione permette di trattare in modo omogeneo le trasformazioni fisiche e quelle chimiche: in entrambi i casi il termine trasformazione fa riferimento a un "cambiamento" che si produce nel campo empirico. L'uso di modelli macroscopici consente di distinguere le trasformazioni fisiche (mutamenti dello *stato fisico* delle sostanze) dalle trasformazioni chimiche (mutamenti dell'*identità* delle sostanze e delle loro quantità). Si deve però tenere presente [2] che la differenza tra trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche ha senso soltanto a determinati livelli di concettualizzazione, ossia se si considerano il registro macroscopico (quello delle sostanze) o quello microscopico degli atomi e delle molecole. Se però si passa al registro nucleo/elettronico, tale distinzione perde di significato, in quanto entrambi i tipi di trasformazioni vengono interpretati come fenomeni in cui si verifica una qualche variazione nella natura dei legami chimici intramolecolari o intermolecolari.

## Evoluzione dei sistemi: modelli e rappresentazioni

In secondo luogo, la distinzione fra “trasformazione chimica” (fenomeno) e “reazione chimica” (modello), è importante perché aiuta gli studenti a superare alcuni ostacoli all'apprendimento. Per esempio, gli allievi hanno difficoltà a comprendere come mai in un sistema possa essere presente un reagente in eccesso dopo la trasformazione chimica, dal momento che la scrittura dello schema di reazione fa pensare alla scomparsa delle sostanze reagenti. La distinzione fra evento empirico (evoluzione del sistema ossia trasformazione chimica) e sua modellizzazione con la reazione chimica permette di non confondere la realtà con la sua interpretazione. Inoltre questa distinzione è particolarmente importante per riflettere sui sistemi chimici in equilibrio.

### 4. Sistemi chimici in equilibrio

Un sistema chimico in equilibrio viene interpretato mediante il concetto di reazione chimica e rappresentato con una coppia di reazioni che sono una l'inverso dell'altra.



Mediante la coppia di reazioni inverse dello schema di reazione è possibile interpretare tutte le trasformazioni chimiche che mettono in gioco le sostanze A, B, C e D, quali che siano le quantità di ciascuna e quale che sia il senso dell'evoluzione del sistema. Se poi questo si trova in uno stato di equilibrio, soltanto tenendo distinte le nozioni di trasformazione chimica e di reazione chimica è possibile interpretarne in modo adeguato il comportamento. Infatti, non vi è alcuna evoluzione nel tempo delle quantità delle sostanze che costituiscono il sistema, per valori costanti della temperatura e della pressione.

Però l'equilibrio non è statico, ma dinamico, e può essere modellizzato con una reazione diretta e una reazione inversa. Immaginare due reazioni, l'una inversa dell'altra, che avvengono simultaneamente e alla stessa velocità permette di comprendere come mai non vi è più evoluzione del sistema, anche se sono presenti tutte le specie chimiche suscettibili di interagire. Si noti infine che, sempre per evitare difficoltà di apprendimento agli allievi, si ritiene più opportuno parlare di “reazione diretta” e “reazione inversa” anziché di «reazione che avviene nei due sensi». È difficile concepire un processo che possa prodursi simultaneamente in un senso e nell'altro. Se si ammettono due processi distinti, questa difficoltà può essere più facilmente superata. Quindi, si può affermare che in un sistema in condizioni di equilibrio chimico:

- A livello macroscopico, non si produce nessuna trasformazione chimica;
- A livello microscopico, si producono contemporaneamente due reazioni chimiche che sono l'una l'inverso dell'altra e che avvengono alla stessa velocità.

### 5. Conclusione

Una delle maggiori difficoltà di apprendimento della chimica risiede nella distinzione tra fatti sperimentali e modelli: i primi appartengono al mondo delle cose, delle evidenze empiriche; i secondi fanno parte del mondo delle idee, della teoria. Inoltre si deve tenere presente che i processi chimici possono essere descritti e interpretati a livello macroscopico e a livello microscopico.

Le trasformazioni chimiche sono processi nei quali un sistema evolve da uno stato iniziale a uno stato finale, diverso da quello iniziale. Se si modella la trasformazione chimica a livello macroscopico, si chiama in gioco il concetto di sostanza: in una trasformazione chimica, il sistema passa dalle sostanze iniziali alle sostanze finali, la cui identità è diversa da quella delle sostanze iniziali. Per modellizzare la trasformazione chimica a livello microscopico si ricorre al modello della reazione chimica che permette di rappresentare la trasformazione chimica mediante uno schema di reazione, utilizzando il linguaggio simbolico della chimica. Quindi la distinzione fra trasformazione chimica e reazione chimica è funzionale all'esistenza dei due livelli di descrizione e interpretazione del mondo; essa torna particolarmente utile nel caso dei sistemi chimici all'equilibrio. Tale equilibrio è dinamico: all'assenza di trasformazione chimica a livello macroscopico corrispondono, a livello microscopico, due reazioni chimiche che sono una l'inverso dell'altra e sono caratterizzate dalla stessa velocità. L'abitudine acquisita a trascurare questa distinzione non autorizza a ritenere che non sia il caso di tenerne conto nell'insegnamento.

### Bibliografia

[1] I. Kermen, M. Méheut, *Didaskalia*, N. 32, 2008, 77.

[2] E. Roletto, A. Regis, M. Ghirardi, *Didattica delle scienze*, n. 259, anno XLIV, 2009, 47.

# L'equilibrio Chimico.

## Rivisitazione del Principio di Le Chatelier

Fabio Marchetti, Claudio Pettinari, Riccardo Pettinari,  
Corrado Di Nicola, Augusto Cingolani

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

### Riassunto

Il Principio di Le Chatelier viene comunemente invocato per prevedere il comportamento di sistemi chimici all'equilibrio soggetti ad una perturbazione apportata dall'esterno. Esso viene spesso considerato una legge naturale di validità generale, applicabile anche in altre discipline. In realtà l'enunciato di Le Chatelier non è molto chiaro e le previsioni non sempre corrette. Bisogna perciò porre particolare attenzione al suo impiego nell'insegnamento dell'equilibrio chimico.

### Abstract

*Le Chatelier Principle is currently invoked to make provisions on the behavior of chemical systems at equilibrium after an external disturb. It is often considered a natural law of general validity, applicable also in other disciplines. As a matter of fact the statement of Le Chatelier isn't very clear and its provisions not always are correct. So that, a particular care must be used when teaching the chemical equilibrium.*

### Introduzione

Abbiamo in precedenza delineato l'evoluzione storica del concetto di equilibrio chimico e delle sue caratteristiche, quali l'incompletezza delle reazioni, la reversibilità e la dinamicità.[1] Nel presente lavoro approfondiremo lo studio dell'equilibrio chimico ed in particolare delle conseguenze derivanti da sollecitazioni esterne applicate a sistemi chimici in equilibrio. L'analisi dei tipi di sollecitazioni possibili e la previsione della composizione nel nuovo stato di equilibrio verso cui i sistemi chimici evolvono costituisce infatti un importante aspetto dei corsi di chimica generale e di chimica fisica. Un approccio largamente utilizzato in didattica della chimica, per prevedere come un sistema all'equilibrio reagisce alle sollecitazioni, si basa sul Principio di Le Chatelier (che da ora in poi indicheremo brevemente PLC). Il PLC è una regola qualitativa che non ha basi teoriche ma spesso permette di prevedere correttamente come i sistemi chimici si modificano.

I libri di testo scolastici ed universitari riportano il PLC sotto forme differenti, che spesso ne modificano profondamente il contenuto e le conseguenze. Ciò deriva da una intrinseca ambiguità del PLC stesso, che è stata messa in evidenza da diversi ricercatori nel corso degli anni. Nella letteratura europea e mondiale dedicata alla didattica delle scienze ed in particolare della chimica si è svolto infatti negli ultimi decenni, e si sta tuttora svolgendo, un approfondito dibattito tra i sostenitori ed i critici del PLC.

Che ciò abbia avuto conseguenze profonde può essere evidenziato da quanto riportato in due recentissime edizioni di testi universitari anglosassoni di chimica generale. In particolare nel *General Chemistry* del Petrucci[2] viene indicato che: "*Le Chatelier's principle is hard to state unambiguously, but its essential meaning is stated here: when an equilibrium system is subjected to a change in temperature, pressure, or concentration of a reacting species, the system responds by attaining a new equilibrium that partially offsets the impact of the change*" (traduzione: E' difficile enunciare il Principio di Le Chatelier in modo non ambiguo, ma il suo significato essenziale è il seguente: quando un sistema all'equilibrio è sottoposto ad una variazione nella temperatura, pressione o concentrazione delle specie reagenti, esso risponde conseguendo un nuovo stato di equilibrio che compensa parzialmente l'effetto della variazione).

Addirittura nel *Chemistry* del Blackman[3] il PLC viene apertamente criticato ed il suo utilizzo sconsigliato, a favore dell'impiego del quoziente di reazione  $Q$ : "*Le Chatelier's principle is useful in many circumstances. However, it sometimes gives incorrect predictions; for example, a naive application of Le Chatelier's principle would predict a shift in equilibrium position of a saturated aqueous solution of a sparingly soluble salt, such as AgCl, on addition of more solid salt. Therefore, it is better to consider the perturbation of systems at equilibrium by comparison of the values of the equilibrium constant,  $K$ , and the reaction quotient,  $Q$ , for a particular chemical process*" (traduzione: Il Principio di Le Chatelier è utile in molte circostanze. Però esso a volte fornisce previsioni errate; ad esempio una semplice applicazione del Principio di Le Chatelier predirebbe uno spostamento della posizione di equilibrio di una soluzione acquosa satura di un sale poco solubile, come AgCl, per aggiunta di ulteriore sale solido. Quindi è meglio considerare la perturbazione di sistemi all'equilibrio per un particolare processo chimico attraverso il confronto dei valori della costante di equilibrio  $K$  e del quoziente di reazione  $Q$ ).

## L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier

Sembra però che qui in Italia tutto ciò sia passato quasi del tutto inosservato. Riteniamo invece che un approfondimento della tematica in questione, attraverso una analisi del modo di enunciare il PLC nei recenti testi scolastici ed universitari e anche dei casi in cui il PLC non fornisce previsioni corrette, possa essere utile ai lettori di questa rivista ed anche ai docenti di chimica delle scuole superiori.

### Il principio di Le Chatelier-Braun

Nel 1884 Le Chatelier pubblica un lavoro in cui enuncia la prima forma del principio sulla legge degli equilibri chimici.[4] Nella forma della traduzione inglese egli asserisce che: *“ogni sistema in equilibrio chimico stabile, sottoposto all'influenza di una causa esterna che tende a modificare la sua temperatura o la sua condensazione (pressione, concentrazione, numero di molecole per unità di volume), sia nel suo insieme o in qualche sua parte, può subire modificazioni interne tali che, prodotte da sole, portano ad una variazione di temperatura o di condensazione di segno opposto a quello risultante dalla causa esterna”*. [5] Le Chatelier deriva tale principio da prove sperimentali e non offre alcuna argomentazione teorica a supporto.

Poi nel 1888 pubblica un altro lavoro contenente un più esteso trattamento dell'equilibrio chimico e riformula il principio in una forma più breve ma più generale. Nella originale presentazione del PLC in lingua francese egli enuncia che: *«Tout système en équilibre chimique éprouve, du fait de la variation d'un seul des facteurs de l'équilibre, une transformation dans un sens tel que, si elle se produisait seul, elle amènerait une variation de signe contraire du facteur considéré»*. [6] mentre nella forma della traduzione inglese: *“Every change in one of the factors of an equilibrium occasions a rearrangement of the system in such a direction that the factor in question experiences a change in a sense opposite to the original”* che in italiano suona così: *“Ogni cambiamento di uno dei fattori di un equilibrio produce un riarrangiamento del sistema nella direzione in cui il fattore in questione subisce una modificazione nel senso opposto all'originale”*. Questa forma del PLC è già molto più simile a quelle oggi universalmente riportate in tutti i testi di chimica generale e anche di chimica fisica. [7] Le Chatelier ritornerà ancora sullo stesso concetto attraverso la pubblicazione di altri due articoli nel 1933, senza però aggiungere nulla di veramente rilevante. [8]

Braun pubblica nel 1887 una generalizzazione della legge degli equilibri chimici, [9] riporta gli effetti della pressione sulla solubilità in acqua dei sali e nota che la solubilità aumenta con la pressione se la dissoluzione avviene con diminuzione di volume. Quindi nel 1888 riporta una trattazione generale sugli effetti della modificazione di differenti variabili su sistemi termodinamici, [10] estendendo il principio enunciato da Le Chatelier anche a situazioni che non contemplino equilibri chimici e fisici. Per tali contributi molti studiosi tendono a riconoscere la paternità del principio anche a Braun ed indicano il PLC come *“Principio di Le Chatelier – Braun”*.

### Il principio di Le Chatelier nei testi universitari italiani

Prima di addentrarci nella disputa sul PLC analizziamo come esso viene riportato qui in Italia. Possiamo esaminare i seguenti enunciati tratti dalle versioni italiane di moderni testi universitari anglosassoni di Chimica Generale:

(i) *“Quando un sistema chimico in equilibrio viene perturbato, esso ritorna all'equilibrio subendo una reazione netta che riduce l'effetto della perturbazione”*. [11]

(ii) *“Applicando a un sistema sede di equilibrio dinamico una sollecitazione, l'equilibrio tenderà a disporsi nello stato che rende minimo l'effetto della sollecitazione”*. [12]

(iii) *“Quando un sistema all'equilibrio è sottoposto a una variazione di temperatura, pressione o concentrazione delle specie reagenti, il sistema reagisce in modo da compensare parzialmente la variazione raggiungendo un nuovo stato di equilibrio”*. [13]

(iv) *“Se un sistema in equilibrio viene perturbato da una variazione di concentrazione, pressione o temperatura, il sistema si sposterà, se possibile, in modo da contrastare la variazione”*. [14]

Adirittura in un testo vengono riportati tre enunciati leggermente diversi in tre differenti capitoli: [15]

(v) *“Dato un sistema all'equilibrio, o che sta raggiungendo le condizioni di equilibrio, questo reagisce ad una sollecitazione esterna in modo da attenuarla o annullarla”* (cap. 13 Liquidi e Solidi).

(vi) *“Quando a un sistema in equilibrio si applica una perturbazione, il sistema reagisce nella maniera che meglio ne attenua le conseguenze”* (cap. 14 Le Soluzioni).

(vii) *“Se un sistema all'equilibrio viene turbato variandone le condizioni (applicando una sollecitazione), il sistema si sposta nella direzione in cui si ha riduzione dell'effetto della variazione e, se gli viene dato il tempo necessario, esso raggiunge un nuovo stato di equilibrio”* (cap. 17 Equilibrio Chimico)

Alcuni recenti testi universitari di Chimica Generale di autori italiani propongono versioni leggermente differenti per il PLC e in uno di essi viene indicato come *“Principio di Le Chatelier-Braun”*:

(viii) *“Un sistema in equilibrio che viene perturbato dall'esterno mediante una variazione di concentrazione, di pressione o di temperatura, modifica la propria composizione in modo da opporsi all'avvenuto cambiamento”*. [16]

(ix) “Quando viene fatta variare una delle grandezze che caratterizzano lo stato di equilibrio di un sistema (come la pressione o la temperatura o il volume molare), il sistema stesso evolve verso una nuova posizione di equilibrio, tale da eliminare o minimizzare le variazioni impostegli”.[17]

(x) “Se in un sistema all’equilibrio si perturba uno dei fattori che lo governano, il sistema reagirà in modo da minimizzare la perturbazione”.[18]

### Il principio di Le Chatelier nei testi italiani per le scuole secondarie

Esaminiamo ora gli enunciati del PLC riportati in alcuni recenti testi di Chimica Generale per le Scuole Superiori:

(i) “Quando un sistema all’equilibrio è perturbato, l’equilibrio si sposta in modo tale da controbilanciare l’effetto subito dalla perturbazione e ristabilire un nuovo equilibrio”.[19]

(ii) “Un sistema all’equilibrio, perturbato da un’azione esterna, reagisce in modo da ridurne o annullarne l’effetto, ristabilendo l’equilibrio”.[20]

(iii) “Se si perturba un sistema all’equilibrio si crea una nuova situazione di equilibrio che riduce gli effetti della perturbazione”.[21]

(iv) “Se si disturba un sistema all’equilibrio, esso reagisce in modo da annullare l’effetto dell’intervento e si riporta all’equilibrio”.[22]

(v) “Se, in un sistema, un equilibrio viene turbato, il sistema tende a reagire nella direzione che ristabilisce l’equilibrio”.[23]

(vi) “Qualsiasi variazione alle condizioni che mantengono un sistema all’equilibrio, fa sì che il sistema reagisca in modo da contrastare l’effetto di tale variazione”.[24]

Questi esempi dimostrano come il PLC venga spesso modificato profondamente nei libri di testo rispetto alle sue forme originali e, in termini generali, proponiamo la seguente analisi:

- a) si parla sempre di un **sistema**, e in diversi casi si specifica che esso è un **sistema chimico**.
- b) in tutti i casi si tratta di sistemi che si trovano in **equilibrio**, tranne nella sentenza (v), del testo universitario anglosassone [15] che però è inserita in un capitolo riguardante liquidi e solidi, in cui si specifica che il sistema può anche trovarsi in una situazione di non equilibrio.
- c) al sistema viene applicata una **variazione di una qualche grandezza** (si noti l’uso anche di “sollecitazione” o di “perturbazione”).
- d) la grandezza modificata dall’esterno (**pressione, temperatura o concentrazione** delle specie reagenti, o anche volume molare) viene indicata come “*fattore che governa l’equilibrio*”, “*condizione dell’equilibrio*”, o viene direttamente specificata.
- e) in seguito alla “perturbazione” il sistema “torna in equilibrio subendo una reazione”, “si dispone in un nuovo stato”, “reagisce raggiungendo un nuovo stato di equilibrio”, “si sposta”, “reagisce”, “modifica la propria composizione”, “evolve verso una nuova posizione di equilibrio”, in pratica si verifica una **modificazione delle concentrazioni** delle specie presenti e si instaura un **nuovo stato di equilibrio**, ma non sempre ciò viene chiaramente esplicitato.
- f) la spiegazione dell’azione del sistema (o meglio la previsione di come il sistema si modifica) al punto precedente non è di tipo **causale** (cioè non ricerca una causa antecedente per tale azione) quanto piuttosto di tipo **teleologico** (dalla tradizione aristotelica, rivolta al futuro) cioè spiega la modificazione in funzione dell’obiettivo futuro del sistema: “ridurre l’effetto della perturbazione”, “rendere minimo l’effetto della sollecitazione”, “compensare parzialmente la variazione”, “contrastare la variazione”, “attenuare o annullare la sollecitazione”, “attenuare le conseguenze” (in questo caso non è ben chiaro cosa si intenda per conseguenze), “ridurre l’effetto della variazione”, “opporsi all’avvenuto cambiamento”, “eliminare o minimizzare le variazioni impostegli”, “minimizzare la perturbazione”.

### Ambiguità del PLC

I diversi modi di enunciare il PLC possono creare qualche confusione nei non esperti, poiché:

(1) i termini “perturbazione” e “sollecitazione” sono vaghi ed ambigui, non essendovi un unico modo di decidere qual è la perturbazione o la sollecitazione. Ad esempio, nel caso di una variazione di pressione, qual è la perturbazione? La variazione di pressione o la corrispondente variazione di volume? O entrambe? O la variazione conseguente nella composizione? I termini “perturbazione” e “sollecitazione” non vengono facilmente associati a cosa effettivamente si deve intendere, cioè una **variazione imposta dall’esterno di una grandezza intensiva**, come la temperatura, o la pressione, o la composizione del sistema (in quest’ultimo caso si intende una variazione, per aggiunta o sottrazione, della concentrazione di una specie chimica reattiva presente nel sistema all’equilibrio).

(2) La variazione imposta dall’esterno sul sistema provoca una **variazione della composizione** (le concentrazioni delle

## L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier

specie variano) e il sistema procede (evolve o, come spesso indicato nella lingua inglese, "it relaxes" si rilassa) verso una **nuova situazione di equilibrio**. Nel caso (vii) viene usato il verbo riflessivo "si sposta" che a nostro avviso può creare confusione perché non chiarisce cosa in effetti si verifica: la frase "il sistema si sposta" può essere intesa come un moto traslazionale del sistema stesso.

(3) La descrizione della **previsione** del modo in cui il sistema varia la propria composizione non è univoca, infatti nei diversi casi si parla di minimizzare, ridurre, contrastare o annullare "**la variazione**", in altri invece si parla di minimizzare, ridurre, contrastare o annullare "**l'effetto della variazione**", e le due cose non sono assolutamente coincidenti.

(4) Una ulteriore ambiguità del PLC e dei suoi differenti enunciati riportati nei testi didattici è nel fatto che non vengono specificate le condizioni in cui il sistema subisce la variazione di una grandezza intensiva (molti testi non specificano chiaramente se ad esempio l'aggiunta o la rimozione di sostanza viene condotta a volume costante o a pressione costante).

A tal proposito è interessante notare (...e non è un caso isolato) come nell'ultima edizione del testo americano di chimica generale del Silberberg,[25] assieme alla definizione del PLC venga fornita una dettagliata spiegazione del significato di "perturbazione" (*disturb*) e di "reazione netta" (*net reaction*) cioè dell'effetto derivante.

### Previsioni non corrette del PLC

Abbiamo definito in modo chiaro le variabili che possono modificare la composizione di un sistema chimico in equilibrio, in particolare esse sono le *grandezze intensive* **concentrazione, pressione e temperatura**. Sottolineiamo che esse producono modificazioni su altrettante *grandezze estensive*, rispettivamente la **quantità di sostanza** (numero di moli), il **volume** e il **calore** trasferito (Tabella 1):

Tabella 1

<i>variabile intensiva</i>	<i>corrispondente variabile estensiva</i>
<i>concentrazione</i>	<i>quantità di sostanza (numero di moli)</i>
<i>pressione</i>	<i>volume</i>
<i>temperatura</i>	<i>calore</i>

A questo punto riportiamo alcuni casi in cui il PLC non fornisce previsioni chiare o corrette:

(a) **variazione di temperatura**: l'aumento di temperatura (*grandezza intensiva*) del recipiente contenente un sistema reattivo all'equilibrio provoca come effetto l'immissione di calore (*grandezza estensiva*) nel sistema, ma nelle varie enunciazioni del PLC non risulta ben chiaro se il sistema modifica la propria composizione per contrastare l'aumento di temperatura o contrastare l'immissione di calore. Se esso agisce per contrastare l'aumento di temperatura, sarà favorita la reazione endotermica, che potrebbe ridurre la temperatura, mentre se l'azione di contrasto è nei confronti dell'immissione di calore nel sistema, allora sarà favorita la reazione esotermica, che espellerà calore dal sistema. **In realtà se noi aumentiamo dall'esterno la temperatura di un sistema all'equilibrio immergendolo in un termostato, esso non avrà alcun modo di diminuire la temperatura del termostato, ed evolverà verso un nuovo stato di equilibrio corrispondente alla temperatura imposta.** Non essendovi quindi alcuna possibile azione di contrasto per diminuire la nuova temperatura, si potrebbe ipotizzare che il PLC debba intendersi riferito non alla variazione imposta, ma all'effetto della variazione, cioè il sistema dovrebbe contrastare l'immissione di calore, attraverso una modificazione della composizione nel senso della reazione esotermica, in modo da espellere calore, ma sperimentalmente si osserva invece una modificazione della composizione nella direzione di avanzamento della reazione endotermica. Ecco dimostrata l'ambiguità del PLC.

In termini più precisi e quantitativi possiamo considerare una miscela gassosa di reazione all'equilibrio, ad una certa pressione  $P$  e temperatura  $T$ : apportiamo una variazione di temperatura  $dT$  ponendo il sistema reagente in un termostato alla temperatura  $T+dT$ , mantenendo sempre la pressione al valore  $P$  iniziale. Se il sistema fosse costituito da gas inerti non reagenti tra loro, ciò si risolverebbe in un trasferimento di calore  $q_0$  dal termostato al sistema, mentre nel nostro caso di una miscela gassosa reagente si avrà un assorbimento di calore  $q$ , che non è uguale a  $q_0$ . La questione è capire se  $q$  sia maggiore o minore di  $q_0$  ed in realtà la risposta corretta è:

$$q > q_0$$

cioè l'aumento di temperatura provoca una reazione endotermica, cosicché il sistema assorbirà dal termostato una quantità di calore maggiore di quella che assorbirebbe nel caso in cui tutti i gas fossero inerti. **Quindi il sistema in equilibrio sottoposto ad una modificazione della temperatura non si oppone al trasferimento di calore, anzi lo favorisce in misura maggiore.**

(b) **variazione di pressione:** consideriamo prima un sistema costituito da gas inerti in un contenitore adiabatico di volume iniziale  $V$  e ad esso applichiamo un aumento di volume  $+dV_0$ . Poi consideriamo una miscela di gas reagenti in equilibrio all'interno di un analogo contenitore adiabatico allo stesso volume iniziale  $V$  con pistone regolabile, ad esempio una reazione di decomposizione in fase gassosa come la seguente:



ed imponiamo lo stesso aumento di volume  $+dV_0$ . In effetti così facendo **la miscela di reazione non può in alcun modo opporsi all'aumento di volume**. Si verificherà anzi una modificazione della composizione del sistema che procederà verso una maggiore decomposizione del  $\text{PCl}_5$  a dare una maggiore quantità di  $\text{PCl}_3$  e  $\text{Cl}_2$ , con un aumento complessivo del numero di molecole nel sistema ed un conseguente ulteriore aumento di volume:

$$+dV > +dV_0$$

Anche in questo caso il PLC fallisce nella previsione, se intesa come contrasto alla variazione di volume apportata. Infatti **se consideriamo come perturbazione l'aumento di volume  $+dV$ , il volume del sistema continuerà ad aumentare, in virtù della maggiore decomposizione di  $\text{PCl}_5$ , in misura maggiore che nel caso di un sistema contenente gas inerti**.

Possiamo però ragionare in termini di conseguente variazione di pressione  $-dP$ , cioè considerare come perturbazione non l'aumento di volume  $+dV_0$  ma la conseguente diminuzione di pressione  $-dP$ , e valutare se essa sia maggiore o minore, in valore assoluto, rispetto alla variazione  $-dP_0$  del sistema di volume iniziale  $V$  contenente però gas inerti, di cui si aumenta il volume della stessa quantità  $+dV_0$ . Ciò che si osserva sperimentalmente è:

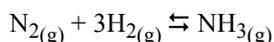
$$|dP| < |dP_0|$$

infatti la maggiore decomposizione del  $\text{PCl}_5$  provoca un aumento di molecole nel sistema e quindi la sua pressione diminuisce in misura minore rispetto a quanto si verifica nel caso del sistema di gas inerti. **In questo modo "indiretto" il sistema si oppone all'aumento di volume  $+dV$  (o meglio alla diminuzione di pressione  $-dP_0$ ), quindi in questo caso, seppure in modo ambiguo, il PLC sembra prevedere correttamente il comportamento del sistema.**

(c) **variazione di composizione:** in tutte le enunciazioni del PLC non si specifica mai se l'aggiunta o la rimozione di una sostanza reagente all'equilibrio debba essere **condotta a pressione o volume costante**, ma ciò è importante perché si possono individuare diversi casi in cui l'esistenza o meno di tali vincoli può condurre a risultati inattesi.

L'esempio più noto per illustrare i limiti del PLC riguarda la previsione della direzione di spostamento nell'equilibrio relativo alla sintesi dell'ammoniaca in seguito all'aggiunta di azoto molecolare a pressione e temperatura costanti, quando la frazione molare di  $\text{N}_2$  nella miscela di equilibrio è superiore a 0.5.[26,27,28,29] In questa situazione il PLC prevede lo spostamento dell'equilibrio verso la formazione di una maggiore quantità di  $\text{NH}_3$  in modo da rimuovere l'eccesso di  $\text{N}_2$  ma in realtà si verifica l'esatto contrario.

Consideriamo ad esempio un contenitore con **volume variabile** ma **pressione costante**, contenente  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{NH}_3$  all'equilibrio a 500 K. Il volume iniziale è 1 L e la pressione totale 4.142 atm. A questa temperatura, per il seguente equilibrio:



la costante  $K_p$  vale 0.036. Le quantità all'equilibrio di  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{NH}_3$  sono rispettivamente 0.075 moli, 0.020 moli e 0.00603 moli (quindi la frazione molare di  $\text{N}_2$  è 0.7523, cioè  $> 0.5$ ). Se ora aggiungiamo 0.005 moli di  $\text{N}_2$  al contenitore e lasciamo che il sistema evolva verso una nuova posizione di equilibrio a  **$P$  e  $T$  costanti**, il PLC prevede che la reazione diretta debba procedere ulteriormente, con la formazione di una maggiore quantità di  $\text{NH}_3$  e consumo di  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2$ . **In realtà, sperimentalmente, si verificherà proprio l'opposto, cioè sarà favorita la reazione inversa e si produrranno ulteriori quantità di  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2$  con consumo di  $\text{NH}_3$ .** Per comprendere il perché di tale evidenza sperimentale si può ragionare in termini di  $K_p$  e di quoziente di reazione  $Q$ . La  $K_p$  è:

$$K_p = \frac{P_{\text{NH}_3}^2}{P_{\text{N}_2} P_{\text{H}_2}^3}$$

## L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier

e usando le frazioni molari  $X_i (= n_i/n_{tot})$ , possiamo sostituire  $P_i = X_i \cdot P_{TOT}$  e ottenere:

$$K_p = \frac{(X_{NH_3})^2}{(X_{N_2})(X_{H_2})^3 P_{TOT}^2} = K_x \cdot \frac{1}{P_{TOT}^2}$$

A questo punto, *se la pressione totale viene mantenuta costante*, solo  $K_X$  varierà. Introducendo le espressioni esplicite per le frazioni molari:

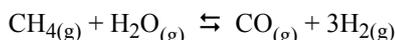
$$K_X = \frac{\left(\frac{n_{NH_3}}{n_{tot}}\right)^2}{\left(\frac{n_{N_2}}{n_{tot}}\right)\left(\frac{n_{H_2}}{n_{tot}}\right)^3} = \frac{n_{NH_3}^2 (n_{N_2} + n_{H_2} + n_{NH_3})^2}{n_{N_2} n_{H_2}^3}$$

dove il numero di moli di  $N_2$  appare sia al numeratore che al denominatore, ma al numeratore esso appare elevato al quadrato, quindi l'aggiunta di  $N_2$  causerà un incremento maggiore del numeratore che del denominatore e da un certo valore di  $Q_X$  in poi quest'ultimo diverrà maggiore di  $K_X$ . Infatti il valore di  $K_X$  per i dati del problema precedente è 0.6185 mentre il valore di  $Q_X$  dopo l'aggiunta di 0.005 moli di  $N_2$  è 0.6387, cioè  $Q_X > K_X$  perciò il sistema modificherà la propria composizione e rilascerà verso un nuovo equilibrio consumando  $NH_3$  e producendo altra  $N_2$  e  $H_2$  in modo da diminuire  $Q_X$  fino ad un valore pari a  $K_X$ .

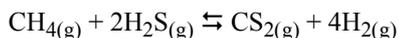
Nella nuova posizione di equilibrio le quantità di  $N_2$ ,  $H_2$  e  $NH_3$  saranno rispettivamente 0.08003 moli, 0.020085 moli e 0.00597 moli. Invece l'aggiunta di  $H_2$  provocherà sempre una diminuzione di  $Q_X$  rispetto a  $K_X$ , perché al denominatore  $H_2$  compare elevato al cubo.

Altri noti esempi[28] nei quali il PLC fallisce per certi intervalli di composizione sono:

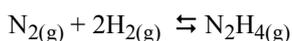
1) aggiunta di CO nella reazione all'equilibrio:



2) aggiunta di  $CS_2$  nella reazione all'equilibrio:



3) aggiunta di  $N_2$  nella reazione all'equilibrio:



Un modo più immediato ma qualitativo di razionalizzare tale apparente "anomalia" può essere basato sull'uso della legge di Dalton delle pressioni parziali e sulla legge dei gas ideali. L'aggiunta di  $N_2$  al sistema in equilibrio provoca l'aumento della quantità totale di moli  $n$  di gas presenti perciò, data l'equazione dei gas ideali  $PV = nRT$  e mantenendo **P e T costanti**, il volume  $V$  aumenta proporzionalmente a  $n$ . Poiché le quantità di  $H_2$  e  $NH_3$  sono inizialmente invariate, l'aumento di volume provoca una iniziale diminuzione delle pressioni parziali di  $H_2$  e  $NH_3$ . Quindi, se nella legge di Dalton

$$P_{TOT} = P_{(H_2)} + P_{(N_2)} + P_{(NH_3)}$$

teniamo  $P_{TOT}$  costante mentre aggiungiamo  $N_2$ , ciò significa che  $P_{(N_2)}$  aumenta, perciò  $P_{(H_2)}$  e  $P_{(NH_3)}$

debbono diminuire. Tale diminuzione comporta la decomposizione di  $NH_3$  e una ulteriore produzione di  $N_2$ .

Quindi la situazione derivante da aggiunte o rimozioni di reagenti o prodotti può essere molto complessa, e il PLC può creare la falsa convinzione che sia invece facilmente possibile prevedere il verso della variazione di composizione di un sistema chimico. In molti testi di Chimica Generale e Chimica Fisica, per ovviare a tali difficoltà ed ambiguità, si forniscono ulteriori regole per casi separati.[30]

Una situazione di confusione ed ambiguità riguarda anche l'aggiunta di un gas inerte ad un sistema gassoso in equilibrio. Se l'aggiunta di un gas inerte viene condotta a volume costante e i gas si comportano idealmente, l'equilibrio non sarà modificato (in base alla legge di Dalton sulle miscele gassose ideali, ciascun gas esercita una pressione parziale come se occupasse da solo tutto il volume a disposizione), ma qualora si mantenesse costante la pressione, permettendo quindi un conseguente aumento del volume, il PLC non premette previsioni univoche, in quanto verranno modificate anche le pressioni parziali delle sostanze gassose reagenti.[31]

### Disputa sul Principio di Le Chatelier-Braun

Riportiamo ora a grandi linee l'evoluzione storica della disputa sul PLC citando i contributi più significativi dei principali "attori" della controversia.

Ehrenfest e Raveau già nel 1909 criticano il PLC perché lo considerano vago ed ambiguo.[32] Essi sviluppano una teoria accompagnata da un preciso formalismo matematico per enunciare esattamente il PLC in termini di variabili *intensive* ed *estensive*, e dimostrano che i diversi tipi di variazioni possono essere raggruppati in due categorie, in base alla risposta dei sistemi in esame: sotto certe condizioni i sistemi si *oppongono* alle variazioni, ma sotto altre condizioni essi si *adattano* alle variazioni. La trattazione è però applicata a sistemi puramente fisici, come solidi elastici e gas ideali, cosicché tali lavori non ricevono la meritata attenzione dalla comunità dei chimici.

Giustificazioni teoriche al PLC sono state proposte da diversi autori, in particolare nel 1927 da De Donder e van Rysselberghe, che introducono anche una serie di "*teoremi di moderazione*".[33]

Nel 1933 Posthumus torna a criticare il PLC perché negli equilibri chimici le variazioni nella concentrazione non sempre seguono le variazioni nella massa di ciascuna specie chimica coinvolta nella reazione.[34]

Dopo quasi cinquanta anni dai lavori di Ehrenfest le sue idee vengono riportate all'attenzione dei chimici nel 1957 da De Heer.[25] Egli critica dalle pagine del *Journal of Chemical Education* la falsa convinzione di molti scienziati che il PLC sia valido perché esprime una legge di natura fondamentale, nonostante molte prove a dimostrazione della sua imprecisione e vaghezza, e cita anche M. Planck: *The idea that nature has a certain interest to preserve an equilibrium state at all costs is wrong. Nature is essentially indifferent; in certain cases it reacts in one sense, but in other cases in the opposite sense.*[35]

De Heer deriva anche le equazioni termodinamiche corrispondenti a due precise formulazioni teoriche che non contengono ambiguità, in riferimento a perturbazioni di variabili precisamente specificate come intensive o estensive (per **variabili intensive** si intendono *temperatura, pressione e concentrazione*, mentre le corrispondenti **variabili estensive** sono rispettivamente *calore, volume e numero di moli*, vedi Tabella 1) così enunciate:

(IIA) *If an extensive variable change is imposed on a system at equilibrium, the equilibrium will shift so that the change in the corresponding intensive variable will be smaller than otherwise. (Imponendo una modificazione ad una variabile estensiva su un sistema in equilibrio, il sistema evolverà verso una nuova situazione di equilibrio attraverso una diminuzione della corrispondente variabile intensiva)* (si pensi al precedente esempio di aumento +dV del volume V, variabile estensiva, di un sistema in equilibrio e alla corrispondente diminuzione -dP della pressione P, variabile intensiva, minore della quantità dP<sub>0</sub> nel caso di gas inerti).

(IIB) *If an intensive variable change is imposed on a system at equilibrium, the equilibrium will shift so that the change in the corresponding extensive variable will be larger than otherwise. (Imponendo una modificazione ad una variabile intensiva su un sistema in equilibrio, il sistema evolverà verso una nuova situazione di equilibrio attraverso un incremento della corrispondente variabile estensiva)* (si pensi al precedente esempio di aumento +dT della temperatura T, variabile intensiva, di un sistema in equilibrio e alla corrispondente immissione q di calore, variabile estensiva, maggiore della quantità q<sub>0</sub> nel caso di gas inerti).

L'anno successivo Standen critica, sempre dal *Journal of Chemical Education*, la posizione radicale di de Heer e difende il PLC: in particolare il caso "anomalo" dell'equilibrio di formazione dell'ammoniaca può essere spiegato perché l'aggiunta di azoto molecolare viene condotta a pressione costante, per cui il volume deve cambiare.[36] In essenza i casi "anomali" si presentano quando la perturbazione del sistema avviene con delle "costrizioni" che provocano a loro volta perturbazioni "aggiuntive". Nello stesso numero della rivista de Heer ribadisce la propria posizione e cerca di dimostrare l'infondatezza di alcuni ragionamenti di Standen, che confermano la "mancanza di chiarezza" del PLC.[37]

Nel 1961 Katz riconosce la validità delle argomentazioni di de Heer ma considera troppo complesso il suo formalismo termodinamico per essere impiegato in una didattica a livello di scuole superiori o anche per il primo corso universitario di chimica fisica. Egli propone invece un *approccio semplificato basato in particolare sull'uso esteso del quoziente di reazione Q ed il suo confronto con il valore della costante di equilibrio K* in modo da evitare completamente l'uso del PLC.[26]

Nel 1980 Treptow riassume i punti salienti del dibattito precedente riproponendo la validità degli enunciati di De Heer, ma riconosce anche che il PLC, pur difficile da interpretare ed applicare correttamente, può comunque permet-

## L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier

tere previsioni corrette. Treptow aggiunge anche una trattazione grafica relativa alle variabili intensive ed estensive (Tabella 1).[38] Infine propone una semplificazione dei due enunciati di de Heer, con un nuovo enunciato che possa essere utilizzato a livello introduttivo nei corsi di chimica generale:

*“A system at equilibrium resists attempts to change its temperature, pressure, or concentration of a reagent”.*

*(Un sistema all'equilibrio resiste ai tentativi di modificare la sua temperatura, la sua pressione o la concentrazione di un reagente).*

Contemporaneamente Bordner propone numerosi esempi sperimentali, relativi all'influenza della temperatura sulla solubilità di sali in acqua, che sembrano contraddire le previsioni del PLC.[39] I sali con entalpie di solubilizzazione negative, cioè:



per i quali la solubilizzazione è un processo esotermico, dovrebbero infatti mostrare una minore solubilità all'aumentare della temperatura, mentre ***in realtà la gran parte di essi vede aumentata la propria solubilità a temperature maggiori.***

Nel 1982 Fernandez-Prini, ribadendo la validità del PLC nei casi di equilibri chimici, critica Bordner perché tale principio non può essere applicato a situazioni estreme come gli equilibri di fase e le solubilità, per i quali soltanto una rigorosa trattazione termodinamica permette di fare previsioni accurate.[40] Nel 1983 anche Brice ritorna sull'argomento in favore della posizione di Fernandez-Prini e a difesa del PLC.[41] L'anno successivo Treptow pubblica un nuovo lavoro sull'applicazione del PLC alle solubilità dei sali in acqua e alla dipendenza delle solubilità dalla temperatura, dimostrando che ***il PLC può ancora essere ritenuto essenzialmente valido se si considerano le entalpie di solubilizzazione delle forme idrate dei sali, piuttosto che quelle dei corrispondenti sali anidri.***[42] In tale disputa sulle solubilità dei sali si inserisce Jensen che nel 1987 ricorda come già Wilhelm Ostwald, nell'edizione inglese del suo testo *General Chemistry* del 1895, ponesse la dovuta attenzione sul fatto che debbono essere considerate soltanto le entalpie di solubilizzazione dei sali in soluzioni quasi sature per fare previsioni corrette sulla variazione della loro solubilità in funzione della temperatura, in quanto ***il segno dell'entalpia di solubilizzazione in soluzioni concentrate può essere opposto ( $\Delta H_{\text{sol}} > 0$  quindi un processo endotermico) a quello di soluzioni molto diluite.***[43]

Nello stesso anno Kemp ribadisce la validità della proposta didattica di Katz basata sul confronto tra la costante di equilibrio K ed il quoziente di reazione Q per formulare previsioni corrette sull'effetto derivante dall'aggiunta di reagenti o di sostanze inerti ad un sistema inizialmente all'equilibrio, ma di utilizzare invece le equazioni di van't Hoff per prevedere gli effetti dovuti a variazioni di temperatura o di pressione. Egli propone anche una derivazione termodinamica delle regole di van't Hoff che possa essere facilmente proposta a studenti dei primi corsi di chimica fisica.[44]

Nel 1990 Bergquist e Heikkinen riconoscono nel tradizionale linguaggio associato al PLC una fonte di ambiguità e confusione per gli studenti. Essi considerano che i termini “stress” e “shift” sono i principali responsabili di una classica misconcezione degli allievi sulla natura dinamica dell'equilibrio, il quale viene associato ad un pendolo cioè ad un susseguirsi di reazioni diretta e poi inversa e poi diretta e poi ancora inversa.[45]

Jordaan nel 1993 suggerisce di utilizzare il PLC per analizzare le perturbazioni apportate a sistemi in equilibrio ma soltanto in relazione o ad una variazione di temperatura o ad una variazione di concentrazione di una delle specie nella miscela di reazione, in modo da evitare le ambiguità derivanti dall'aggiunta di gas inerti a sistemi gassosi in equilibrio.[46]

Thomsen nel 2000 ribadisce invece l'importanza e l'universalità del PLC e la sua ampia applicabilità, sotto forme differenti, anche in campi quali la fisica (come la legge di Lenz), la geologia (come la teoria dell'equilibrio isostatico della crosta terrestre), la biologia (come l'omeostasi, termine usato per indicare la tendenza dei sistemi biologici a resistere ai cambiamenti e rimanere in uno stato di equilibrio stazionario) e l'economia (come la legge della domanda e dell'offerta).[47]

Nel 2003 Canagaratna ribadisce le critiche all'uso del PLC e suggerisce ancora una volta l'impiego del quoziente di reazione Q nel confronto con la costante K per prevedere correttamente il comportamento di sistemi in equilibrio chimico.[28] Egli propone inoltre una rigorosa trattazione termodinamica per una variazione di composizione del sistema, assente nei classici testi di chimica fisica.

Nel 2005 Lacy propone un approccio didattico da poter utilizzare sia nei corsi di chimica generale che in quelli di chimica fisica alle particolari situazioni di equilibrio che per aggiunta di reagente producono altro reagente, utilizzando il noto caso prima trattato dell'equilibrio gassoso relativo alla formazione di ammoniaca da azoto e idrogeno molecolare.[27]

Nel 2006 Corti fornisce una spiegazione termodinamica al valore critico 0.5 della frazione molare di N<sub>2</sub> al di là del quale il PLC fallisce nel prevedere l'effetto dell'aggiunta di azoto molecolare alla miscela all'equilibrio della sintesi dell'ammoniaca, mostra l'effetto derivante dal considerare tale miscela di gas in equilibrio come reale (ciò richiede l'impiego delle fugacità) piuttosto che ideale ed inoltre mostra anche come la direzione della reazione dipenda dal fatto che la quantità aggiunta sia una quantità finita o infinitesima.[48]

Recentemente, nel marzo 2007, Torres[49] propone al posto del PLC una trattazione termodinamica rigorosa dell'evoluzione di un sistema chimico in equilibrio quando esso è soggetto ad una perturbazione infinitesimale, riutilizzando alcuni concetti introdotti da De Donder nel 1927.[32]

### Basi teoriche del PLC?

Abbiamo visto che il PLC è soltanto una **regola generale basata su un numero elevato di osservazioni**, tra l'altro non sempre infallibile nelle sue previsioni, data anche la sua ambiguità nel distinguere tra le perturbazioni e gli effetti delle perturbazioni e la sua vaghezza nell'indicare le condizioni generali dei sistemi sottoposti a perturbazioni. Inoltre il PLC è una regola meramente qualitativa, che non permette previsioni quantitative (possibili invece con il confronto tra il valore della costante di equilibrio K e quello del quoziente di reazione Q).

Tra l'altro il PLC nella sue diverse enunciazioni trasmette l'idea errata che una natura "pensante" cerchi di preservare il suo *status quo*, fornendo quindi, come abbiamo accennato in precedenza, una spiegazione di tipo teleologico a delle evidenze sperimentali. Nonostante questo genere di spiegazione venga ampiamente utilizzato nello studio dei comportamenti dei sistemi biologici, esso non trova riscontro nella chimica e nella fisica e, secondo il nostro parere, devia l'attenzione dal vero compito della scienza che dovrebbe occuparsi di individuare le cause iniziali di un fenomeno e non i suoi obiettivi. In altri termini la spiegazione scientifica dovrebbe essere di tipo causale, rivolta al passato (*il fenomeno x si verifica ogni qual volta si determinano le condizioni y e z*) e non di tipo teleologico, rivolta al futuro (*le condizioni y e z si determinano affinché si verifichi il fenomeno x*).[50]

Invece le leggi di van't Hoff, a cui lo stesso Le Chatelier si era ispirato, sono equazioni chiare e precise che permettono di determinare l'evoluzione dei sistemi verso nuove situazioni di equilibrio. Una trattazione rigorosa dei fenomeni in questione può essere fatta con l'analisi delle variazioni di grandezze termodinamiche come l'energia libera G in funzione del grado di avanzamento di reazione  $\xi$ .

Ma in questo articolo non abbiamo ancora indagato l'origine profonda di tali comportamenti della natura, perché **delle regolarità in effetti esistono e sono sempre verificabili**. E qui viene in aiuto quella branca della scienza nota come termodinamica statistica, che ricerca le cause delle leggi macroscopiche della termodinamica classica attraverso una descrizione a livello microscopico di sistemi costituiti da numeri enormi di particelle. I sistemi reali possono essere descritti statisticamente in base ai loro livelli energetici e alla popolazione di ciascun livello: ***l'evoluzione di un sistema da uno stato iniziale ad uno finale dipende dalla maggiore probabilità dello stato finale rispetto ad altri possibili stati con eguale energia totale ma differente distribuzione delle popolazioni nei livelli energetici disponibili***. I moderni testi di Chimica Fisica[7] propongono una descrizione dell'equilibrio chimico e degli effetti della temperatura in termini statistici e possono essere consultati per una spiegazione dettagliata, che è al di là degli scopi di questo articolo. Novak nel 2005 propone una descrizione microscopica del PLC ed una sua dimostrazione basata sulla termodinamica statistica, concludendo che il PLC, spesso indicato anche come "principio di stabilità", non è basato su una legge naturale secondo la quale "la natura favorisce l'equilibrio", quanto piuttosto sul fatto che "**la natura favorisce la situazione più probabile**".[51]

In pratica, l'aumento della velocità della reazione diretta in una reazione in fase gassosa (come ad esempio  $\text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(g)}$ ) in seguito all'aggiunta di un reagente, ad es.  $\text{H}_2$ , nella miscela all'equilibrio può essere compreso tenendo conto che l'aumento del numero di molecole  $\text{H}_2$  comporta pure un aumento del numero di collisioni tra le molecole di  $\text{H}_2$  e di  $\text{I}_2$ ; di conseguenza, la velocità della reazione diretta risulterà, subito dopo l'aggiunta, superiore a quella della reazione inversa fino a che non si ristabilirà una nuova situazione di equilibrio, nella quale la concentrazione di HI sarà maggiore rispetto a quella precedente l'aggiunta. Inoltre le velocità della reazione diretta e di quella inversa saranno superiori alle velocità delle stesse reazioni nella precedente situazione di equilibrio.

### Conclusioni

Il PLC nella forma attualmente conosciuta è stato formulato nel 1888 ed è stato indicato anche come "*principio di moderazione*", "*principio di azione e reazione*" (Nernst), "*principio di abilità di adattamento*" (Chwolson) e "*principio di preservazione di uno stato per quanto possibile*" (Weinstein).[28] Da circa un secolo la comunità accademica è però divisa tra sostenitori del PLC e coloro che invece lo criticano apertamente poiché in molti casi esso risulta ambiguo e comunque, anche laddove permette previsioni corrette, lo fa soltanto in termini qualitativi e non quantitativi.

Non possiamo a questo punto esimerci dal fornire anche il nostro punto di vista che può essere riassunto nelle seguenti considerazioni:

- 1) il PLC è vago ed ambiguo, trasmette una idea sbagliata sulle vere cause dei comportamenti regolari osservati in natura e induce gli allievi a pensare in modo "non scientifico". Per tali ragioni sarebbe auspicabile abbandonare l'uso del PLC, o quantomeno ridurlo drasticamente inserendo contemporaneamente un numero limitato di regole, relative alla modifica delle variabili intensive *concentrazione, pressione e temperatura*, in modo da giungere ad un'unica interpretazione.

## L'equilibrio Chimico. Rivisitazione del Principio di Le Chatelier

- 2) Le regolarità sperimentali possono essere trattate in modo preciso e puntuale attraverso le equazioni di van't Hoff e attraverso il confronto tra il quoziente di reazione  $Q$  e la costante di equilibrio  $K$ . Riteniamo infatti tale approccio adeguato al livello di comprensione di allievi di scuole superiori e dei corsi universitari introduttivi di chimica generale.
- 3) Una trattazione più precisa dal punto di vista quantitativo richiede invece nozioni più avanzate di termodinamica classica e termodinamica statistica che potranno essere introdotte successivamente nei corsi universitari di chimica fisica.

### Riferimenti Bibliografici

- [1] F. Marchetti, R. Pettinari, C. Pettinari, A. Cingolani, C. Di Nicola, *CnS Chimica nella Scuola*, **2009**, *31*, **1**, p.18
- [2] R. H. Petrucci, W. S. Harwood, F. G. Herring, J. D. Madura, *General Chemistry*, Pearson International Edition, Prentice Hall, 9th ed., 2007, Upper Saddle River, New Jersey, p. 638.
- [3] A. Blackman, S. Bottle, S. Schmid, M. Mocerino, U. Wille, *Chemistry*, John Wiley & Sons Australia, Ltd 2008, p. 352.
- [4] H. L. Le Chatelier, *Comptes Rendus Académie des Sciences*, **1884**, *99*, 786.
- [5] E' possibile trovare la traduzione inglese del lavoro indicato nel rif. 2, dal titolo "*A General Statement of the Laws of Chemical Equilibrium*", a cura di H. M. Leicester e H. S. Klickstein, *A Source Book in Chemistry, 1400-1900*, pp. 481-3, nel sito web "Selected Classic Papers from the History of Chemistry" all'indirizzo <http://web.lemoyne.edu/~GIUNTA/lechat.html>. L'enunciato di Le Chatelier suona così: "Any system in stable chemical equilibrium, subjected to the influence of an external cause which tends to change either its temperature or its condensation (pressure, concentration, number of molecules in unit volume), either as a whole or in some of its parts, can undergo such internal modifications as would, if produced alone, bring about a change of temperature or of condensation of the opposite sign to that resulting from the external cause."
- [6] H. L. Le Chatelier, *Annales des Mines*, **1888**, *13*, 157.
- [7] Nel testo di chimica fisica dell'Atkins il PLC viene enunciato nel modo seguente: "Un sistema in equilibrio assoggettato a una sollecitazione risponde in maniera da rendere minimo l'effetto della sollecitazione stessa". P. Atkins, J. De Paula, *Chimica Fisica*, 4<sup>a</sup> ed. Italiana condotta sulla 7<sup>a</sup> edizione inglese, Zanichelli, Bologna, **2004**, p. 225.
- [8] H. L. Le Chatelier, *Comptes Rendus Académie des Sciences*, **1933**, *196*, 1557 e 1753.
- [9] F. Braun, *Z. Physik. Chem.*, **1887**, *1*, 269.
- [10] F. Braun, *Ann. Physik.*, **1888**, *33*, 337.
- [11] M. S. Silberberg, *Chimica, la Natura Molecolare della Materia e delle sue Trasformazioni*, McGraw-Hill Companies, Milano, **2004**, p. 692.
- [12] P. Atkins, L. Jones, *Principi di Chimica*, Zanichelli, Bologna, **2002**, p. 479.
- [13] R. H., Petrucci, W. S. Harwood, F. G. Herring, *Chimica Generale*, 1<sup>a</sup> Ed. italiana dell'8<sup>a</sup> Ed. americana, Piccin, Padova, **2002**, p. 641.
- [14] W. L. Masterton, C. N. Hurley, *Chimica, Principi e Reazioni*, 4<sup>a</sup> Ed. condotta sulla 5a Ed. americana, Piccin, Padova, **2003**, p. 374.
- [15] K. W. Whitten, R. E. Davis, M. L. Peck, G. G. Stanley, *Chimica Generale*, 7<sup>a</sup> Ed. italiana condotta sulla 7<sup>a</sup> Ed. americana, Piccin, Padova, **2004**, cap. 13 p. 490, cap. 14 p. 544, cap. 17 p. 713.
- [16] A. M. Manotti Lanfredi, A. Tiripicchio *Fondamenti di Chimica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, **2001**, p. 241.
- [17] A. Sacco, M. Pasquali, F. Marchetti, *Chimica generale ed Inorganica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, **1998**, p. 164.
- [18] R. Bertani, D. A. Clemente, G. De Paoli, P. Di Bernardo, G. Bavero, M. Gloria, B. Longato, U. Mazzi, G. A. Rizzi, U. Russo, M. Vidali, *Chimica Generale e Inorganica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, **2001**, p. 232.
- [19] A. Bargellini, *Chimica in azione*, Carlo Signorelli Editore, Milano, **1999**, p. 311.
- [20] G. Valitutti, A. Tifi, A. Gentile, *Chimica: molecole in movimento*, Zanichelli, Bologna, **2005**, p. 360. G. Valitutti, A. Tifi, A. Gentile, *Le idee della Chimica*, Zanichelli, Bologna, **2004**, p. 418.
- [21] F. Bagatti, E. Corradi, A. Desco, C. Ropa, *Chimica*, Zanichelli, Bologna, **2003**, p. 388.
- [22] J. E. Brady, J. R. Holum, *Chimica*, Zanichelli, Bologna, **2004**, p. 192.
- [23] J. E. Brady, J. R. Holum, *Chimica*, Zanichelli, Bologna, **2004**, p. 304.
- [24] G. Ricciotti, *Chimica Generale e Organica con laboratorio*, Italo Bovolenta Editore, Ferrara, **2002**, p. G/158.
- [25] "[...] Le Chatelier's Principle: when a chemical system at equilibrium is disturbed, it reattains equilibrium by undergoing a net reaction that reduces the effect of the disturbance. Two phrases in this statement need further explanation. First, what does it mean to "disturb" a system? At equilibrium,  $Q$  equals  $K$ . When a change in conditions forces the system temporarily out of equilibrium ( $Q \neq K$ ), we say that the system has been stressed, or disturbed. Three common disturbances are a change in concentration of a component (that appears in  $Q$ ), a change in pressure (caused by a change in volume), or a change in temperature. We'll discuss each of these changes below. The other phrase, "net reaction," is often referred to as a shift in the equilibrium position of the system to the right or left. The equilibrium position is just the specific equilibrium concentrations (or pressures). A shift in the equilibrium position to the right means that there is a net reaction to the right (reactant to product) until equilibrium is reattained; a shift to the left means that there is a net reaction to the left (product to reactant). Thus, when a disturbance occurs, we say that the equilibrium position shifts, which means that concentrations (or pressures) change in a way that reduces the disturbance, and the system attains a new equilibrium position ( $Q = K$  again)."
- M. S. Silberberg, *Chemistry, the Molecular Nature of Matter and Change*, McGraw-Hill, USA, New York, **2006**, p. 745.
- [26] J. De Heer, *J. Chem. Ed.* **1957**, *34*, 375.
- [27] L. Katz, *J. Chem. Ed.*, **1961**, *38*, 375.

- [28] G. E. Lacy, *J. Chem. Ed.*, **2005**, *82*, 1192.  
[29] S. G. Canagaratna, *J. Chem. Ed.*, **2003**, *80*, 1211.  
[30] P. Atkins, J. De Paula, *Chimica Fisica*, 4<sup>a</sup> ed. Italiana condotta sulla 7<sup>a</sup> edizione inglese, Zanichelli, Bologna, **2004**, p. 225 e seguenti.  
[31] J. J. Solaz, J. Quílez, *Chem. Ed. Res. Pract.* **2001**, *2*, 303.  
[32] P. Ehrenfst, *J. Russ. Phys. Soc.*, **1909**, *41*, 347. P. Ehrenfst, *Z. Physik Chem.*, **1911**, *77*, 227. M. C. Raveau, *J. Phys.*, **1909**, *8*, 572.  
[33] T. De Donder, *L'affinite*, Gauthier-Villars, Paris, **1927**. T. De Donder, P. van Rysselberghe, *Thermodynamic Theory of Affinity*, Stanford University Press, **1936**.  
[34] K. Posthumus, *Recueil des Travaux Chimiques des Pays Bas*, **1933**, *52*, 25.  
[35] M. Planck, *Ann. Phys.*, **1934**, *19*, 759.  
[36] A. Standen, *J. Chem. Ed.*, **1958**, *35*, 132.  
[37] J. De Heer, *J. Chem. Ed.* **1958**, *35*, 133.  
[38] R. S. Treptow, *J. Chem. Ed.*, **1980**, *57*, 417.  
[39] G. M. Bordner, *J. Chem. Ed.*, **1980**, *57*, 117.  
[40] R. Fernandez-Prini, *J. Chem. Ed.*, **1982**, *59*, 550.  
[41] L. K. Brice, *J. Chem. Ed.*, **1983**, *60*, 387.  
[42] R. S. Treptow, *J. Chem. Ed.*, **1984**, *61*, 499.  
[43] W. B. Jensen, *J. Chem. Ed.*, **1987**, *64*, 287.  
[44] H. R. Kemp, *J. Chem. Ed.*, **1987**, *64*, 482.  
[45] W. Bergquist, H. Heikkinen, *J. Chem. Ed.*, **1990**, *67*, 1000.  
[46] F. Jordaan, *Aust. J. Chem. Ed.* **1993**, Nov, 9.  
[47] V. B. E. Thomsen, *J. Chem. Ed.*, **2000**, *77*, 173.  
[48] M. J. Uline, D. S. Corti, *J. Chem. Ed.*, **2006**, *83*, 138.  
[49] E. M. Torres, *J. Chem. Ed.*, **2007**, *84*, 516.  
[50] Per una estesa trattazione sulla spiegazione scientifica vedere: G. Villani, *La chiave del mondo, Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, Napoli, CUEN, **2001**.  
[51] I. Novak, *J. Chem. Ed.*, **2005**, *82*, 1190.

# Storia e filosofia dei rifiuti

## Parte seconda: Filosofia

Giulia Quadrelli

Bologna  
giulia\_quadrelli@yahoo.com

### Un cerchio che si rompe

Se smettiamo di considerare i rifiuti solo come un dato di fatto al quale trovare soluzioni amministrative e tecniche e cominciamo a guardarli invece come “la fine del processo economico che va dalla produzione al consumo, così come la risorsa ne rappresenta l’inizio”, ci accorgiamo che l’unico modo per affrontare realmente il problema è mettere in discussione il nostro modello economico e il nostro modo di utilizzare le risorse di cui disponiamo. Essi sono infatti alla base delle ormai insostenibili condizioni sociali ed ambientali in cui il mondo si trova e di cui i rifiuti non sono altro che uno dei tanti campanelli d’allarme<sup>1</sup>.

A questo scopo, è utile cercare di capire quali siano le basi di questo modello, quali le sue contraddizioni interne, i tentativi fatti per modificarlo e i motivi per cui invece esso continua a dominare incontrastato.

Ripercorrere la storia dei rifiuti ci ha mostrato come essi siano è indissolubilmente legati all’uomo, alle sue attività e alle sue produzioni. La natura, infatti, non produce scarti, o meglio, “in un ciclo ecologico non si possono accumulare rifiuti perchè nulla è rifiutato”<sup>2</sup>. L’equilibrio naturale è dovuto alla circolarità dei fenomeni e delle relazioni tra esseri viventi, grazie alla quale ciò che viene scartato al termine di un determinato processo costituisce una risorsa necessaria per il verificarsi di un altro. Basti pensare al continuo scambio di anidride carbonica ed ossigeno tra esseri animali e vegetali, ciò che per loro è rifiuto per noi è vita e viceversa<sup>3</sup>. Come abbiamo già visto, il primo momento in cui questo equilibrio viene modificato corrisponde all’insediamento umano e conseguentemente allo sviluppo degli aggregati urbani, ma la definitiva rottura della circolarità naturale avviene solo a cavallo tra fine ‘700 e inizio ‘800, periodo in cui ritroviamo le radici della cultura e della società odierna. È questa l’epoca in cui, in Europa, si diffondono gli ideali che poi troveranno definizione nel pensiero positivista. In ambito scientifico essi si manifestano attraverso l’affermazione del paradigma meccanicistico, il quale, essendo caratterizzato da un approccio di tipo analitico allo studio dei fenomeni naturali, volto dunque a ricercare gli elementi specifici ed oggettivi a fondamento delle varie discipline, incrina fortemente la visione unitaria del mondo fino ad allora predominante nelle scienze. Si afferma così l’idea che qualsiasi sapere, per meritare il nome di scienza, debba essere basato su leggi universali ed ineccepibili che permettano di indagare in modo quantitativo i fenomeni naturali per prevedere con precisione le relazioni tra essi e i loro cambiamenti. Allo stesso tempo, si fa strada una cieca *fede* nel progresso, “generalmente identificato con lo sviluppo e la crescita del sapere scientifico e della tecnica”, che si allontana molto dall’idea di progresso caratteristica degli esordi della scienza moderna<sup>4</sup>. Infatti, Bacone e i suoi contemporanei erano ben consapevoli del fatto che le enormi capacità della scienza spesso si rivelano un’arma a doppio taglio, certamente in grado di risolvere molti problemi, ma anche di porne dei nuovi e in genere maggiori. Poichè l’uomo non riesce a comprendere i cicli naturali nella loro organicità, spesso vi inserisce processi artificiali da lui creati sulla base di una visione soltanto parziale, che finiscono per essere estremamente dannosi all’interno di un’economia globale; accade così spesso che fenomeni drammatici considerati catastrofi naturali, non siano in realtà che conseguenze di un intervento artificiale umano inavvertitamente privo di rispetto per l’integrità della natura.

### L’economia classica

Ma torniamo al tardo Settecento, ovvero al momento in cui l’economia classica si propone come una scienza esatta, le cui leggi universali (valide in ogni tempo e in ogni luogo) costituiscono un sistema chiuso ed autosufficiente in continua tensione verso una crescita illimitata del profitto. Al contrario di ciò che il termine “crescita illimitata” può suggerire, e cioè un senso di continua dinamicità, il processo economico è un processo statico, che non rivela in nessun modo il passaggio del tempo. Questa “scienza” si sviluppa così su una struttura lineare e deterministica che alterna

1. G. Viale, *Un mondo usa e getta*, op. cit., p. 7.

2. B. Commoner, *Il cerchio da chiudere*, Garzanti, Milano 1972, p. 18.

3. Cfr. A. Masullo, *Scelte e rifiuti. Il problema dei rifiuti: origini, conseguenze e possibili rimedi*, Roma 1990, Fondo Mondiale per la Natura, p. 10.

4. P. Rossi, *Naufragi senza spettatore. L’idea di progresso*, Bologna, Il Mulino, 1995, p. 93.

domanda-offerta-aumento del reddito all'infinito, coltivando l'ambizione di riuscire a prevedere tutti i possibili sviluppi del proprio sistema e, all'occorrenza, di poter essere reversibile, di riuscire a ricostruire le condizioni di partenza<sup>5</sup>. Essendo fondata su un calcolo quantitativo astratto come quello della matematica, essa si ritiene un sapere speculativo, indipendente tanto dalle altre discipline quanto dalle reali condizioni sociali ed ambientali. Le risorse naturali, considerate illimitate e gratuite, non ricoprono per l'economia classica alcun ruolo all'interno del processo produttivo: il valore economico di ogni cosa dipende unicamente dalla quantità di lavoro compiuto dall'uomo o dalle macchine per realizzarla. Allo stesso modo, ricopre per essi scarsa importanza la società reale, i cui componenti vengono considerati unicamente da un punto di vista individuale in quanto potenziali consumatori. Questo, a ben pensarci, appare davvero paradossale per una disciplina il cui stesso nome (dal greco *eco*: "casa, ambiente in cui si vive"; *nomos*: "legge") suggerisce l'obiettivo di regolamentare gli scambi e le relazioni che gli individui intrattengono tra di loro e con l'ambiente che li ospita e cioè fenomeni assolutamente imprevedibili.

### Crisi del paradigma meccanicistico

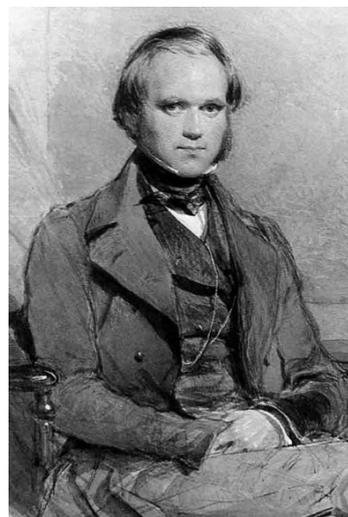
Benchè il paradigma meccanicistico abbia avuto durante tutto il corso del XVIII secolo un successo tale da diffondersi in ogni ambito della ricerca scientifica, sono ancora molti, all'inizio dell'800, gli studiosi che restano legati alla tradizionale idea di un assetto unitario ed organico della natura e dunque della scienza. Con l'introduzione, da parte di Newton, del concetto di forza negli studi fisici, questo "desiderio di una maggiore coesione nella [...] visione del mondo" non può che rafforzarsi<sup>6</sup>. Trattandosi di energie in grado di regolare i rapporti tra i fenomeni e le attrazioni tra i corpi a livello microscopico, le forze mettono seriamente in discussione l'oggettività richiesta nelle sperimentazioni dal modello meccanicistico e provocano un passaggio da un approccio di tipo geometrico ad uno di tipo dinamico<sup>7</sup>. Diviene evidente che cercare di spiegare ogni cosa riducendola all'esattezza del metodo matematico è molto limitante, vista l'estrema complessità dei fenomeni che si manifestano in natura.

Tra fine '700 e inizio '800, il geografo e naturalista tedesco Alexandre von Humboldt contribuisce notevolmente a delineare un'immagine complessa ed organica della scienza. Grazie all'esperienza derivatagli da un lungo viaggio scientifico che tra il 1799 e 1804 lo condusse in diversi paesi dell'America Latina, egli raccoglie moltissimi dati che, oltre a rivelarsi di grande utilità per discipline come la zoologia, la botanica, la geologia, gli permettono di concretizzare quello che egli ritiene il fondamentale obiettivo della scienza: osservare i diversi fenomeni per individuarne e descriverne quei legami regolari, quelle concatenazioni costanti che danno prova della profonda coesione del sistema naturale<sup>8</sup>.

Questa netta distanza venutasi a creare tra visione unitaria e visione analitica della natura e della scienza è la ragione per cui una disciplina come l'economia classica, completamente impostata su una struttura quantitativo-meccanicistica sarà incapace di considerare e superare le proprie interne contraddizioni, anche nel momento in cui altre discipline come la biologia o la fisica ne dimostreranno l'inconsistenza e l'infondatezza scientifica.

Nella seconda metà dell'800, infatti, nuove scoperte e nuove teorie scientifiche compromettono definitivamente la supremazia del dogma meccanicistico in campo fisico e biologico e la sua presa sul mondo filosofico.

Nel 1859 Charles Darwin pubblica *L'origine delle specie*, opera rivoluzionaria nella quale il naturalista inglese espone la propria teoria evolutiva. Dopo anni ed anni di studi Darwin arriva ad ipotizzare che le diverse specie animali e vegetali non siano state "create" così come le conosciamo, ma che si siano piuttosto evolute gradualmente nel tempo attraverso un processo di selezione naturale, secondo il quale viene favorita la sopravvivenza e la riproduzione di quegli individui dotati di caratteristiche fenotipiche che agevolano l'adattamento alle condizioni ambientali. È importante sottolineare che per Darwin "evoluzione" non significa progresso, cioè avanzamento verso una sempre maggiore perfezione, ma semplicemente



5. Cfr. N. Georgescu-Roegen, *Bioeconomia. Verso un'altra economia ecologicamente e socialmente sostenibile*, a cura di Mauro Bonaiuti, Bollati Boringhieri, Torino 2003, p. 68.

6. W. Pauli, *L'influsso delle immagini archetipiche sulla formazione delle teorie scientifiche di Keplero* (1952), in *Psiche e Natura*, a cura di G. Tratteur, Adelphi, Milano 2006, p. 117.

7. Cfr. M. Ciardi, *op. cit.*

8. Si veda A. Von Humboldt, *La geografia, i viaggi: antologia degli scritti*, a cura di M. Milanese e A. Visconti Viansson, Angeli, Milano 1975.

## Storia e filosofia dei rifiuti

una naturale capacità di cambiare in funzione delle diverse condizioni ambientali che vengono man mano a verificarsi per conservare un globale equilibrio<sup>9</sup>.

Si torna quindi ad attribuire alla natura quel ruolo fondamentale che a lungo le era stato precluso a causa del dominio incontrastato del paradigma antropocentrico: diviene evidente che l'uomo non è affatto signore della natura, ma soltanto un animale come tutti gli altri, soggetto alle stesse regole biologiche.

Un altro grande contributo alla visione unitaria del mondo e delle scienze viene in questo momento da una nuova branca della fisica che si occupa di descrivere le trasformazioni subite da un sistema macroscopico a seguito di uno scambio di energia con altri sistemi o con l'esterno: la termodinamica. Il primo principio di questa disciplina, anche noto come principio di conservazione dell'energia (individuato nel 1824 dal francese Carnot) sostiene che all'interno di uno stesso sistema l'energia non può mai essere né creata né distrutta, ma semplicemente trasformata. Il secondo principio, già presentato da Lord Kelvin nel 1848, ma generalmente conosciuto come principio dell'entropia, introdotto dal tedesco Clausius nel 1865, afferma che, nonostante all'interno di un sistema chiuso la quantità di energia presente sia sempre costante, col passare del tempo l'energia disponibile o libera diminuisce e contemporaneamente aumenta l'energia non disponibile o legata; ovvero che l'ordine (stato di bassa entropia) di un siffatto sistema si muta, si degrada costantemente in disordine (stato di alta entropia)<sup>10</sup>.

È infine con la nascita dell'ecologia, termine coniato nel 1866 da Ernst Haeckel (principale sostenitore delle teorie di Darwin in Germania) che "i rapporti tra gli organismi e il mondo esterno", costituito sia da fattori di natura organica sia da "le caratteristiche fisiche e chimiche degli habitat, i caratteri chimici (alimenti non organici), il clima, la qualità dell'acqua, la natura del suolo", divengono finalmente oggetto di studio di una vera e propria scienza<sup>11</sup>. Nel 1875 poi, il geologo austriaco Eduard Suess utilizza per la prima volta la parola *biosfera* in una pubblicazione scientifica, anche se va specificato che solo con un'opera di Vladimir Ivanovič Vernadskij del 1926, intitolata appunto *La Biosfera*, questo termine assumerà il significato moderno: "La biosfera è l'involucro della vita, cioè l'area della materia vivente [...] la biosfera può essere considerata come l'area della crosta terrestre occupata da trasformatori che convertono le radiazioni cosmiche in energia terrestre: elettrica, chimica, meccanica, termica ecc."<sup>12</sup>

### La natura impone i suoi limiti

Questa proliferazione di teorie e discipline che riportano l'attenzione sul carattere evolutivo, ciclico e interattivo dei fenomeni naturali e degli individui che in essi vivono, dimostrando la completa inadeguatezza del paradigma meccanicistico, evidenzia la necessità di superarne il pericoloso approccio eccessivamente indipendente, specialistico ed autoreferenziale, a favore di una maggiore reciproca collaborazione tra le diverse scienze. Infatti, mentre fisici, biologi ed ecologi, già nella seconda metà del XIX secolo hanno piena consapevolezza delle pesanti conseguenze che l'economia umana può avere sull'economia della natura, gli economisti continuano ad aggrapparsi a convinzioni illusorie come appunto la crescita illimitata, l'idea che i processi umani costituiscano un'eccezione privilegiata rispetto agli altri cicli biologici e che la natura non sia una risorsa da gestire con cautela ma semplicemente qualcosa di dovuto o di scontato da sfruttare al massimo.

Al riguardo, si può citare lo studio effettuato nel 1877 da Karl Möbius sulla produttività dei banchi di ostriche a Wattenmeer, località sulle coste dell'Holstein. In soli dieci anni, una raccolta di ostriche con un ritmo molto superiore rispetto a quelle che erano le loro capacità riproduttive aveva provocato un crollo incredibile nella produzione (da 15 milioni nella stagione 1854-1855 a sole 400.000 nella stagione 1863-1864).

Anche il fisico John Herschel guarda con preoccupazione allo sfrenato sfruttamento di combustibili fossili dovuto all'enorme sviluppo industriale dell'Inghilterra di questo periodo:

"Consumiamo le nostre risorse e diamo fondo alla nostra vita nazionale a un tasso enorme e crescente per cui, quando, presto o tardi, verrà la resa dei conti, sarà un gran brutto giorno"<sup>13</sup>.

Perfino alcuni economisti, come ad esempio John Stuart Mill e William Stanley Jevons, si rendono conto del problema della sostenibilità, dell'esaurimento delle fonti di energia e dell'importante ruolo che il rapido progresso tecnologico gioca in questo problema. Il primo, già nel 1848, prende in considerazione queste tematiche nel famoso capitolo "Dello stato stazionario" dei suoi *Principi di economia politica*, sostenendo la necessità di arrestare la crescita di beni e servizi calcolati sul prodotto nazionale. Jevons, invece, intuisce che il miglioramento nel tempo dell'efficienza energetica delle macchine, non comporta necessariamente una diminuzione nella quantità totale dei consumi, anzi, paradossalmente spinge ad aumentarla. Siamo dunque tornati sulla solita questione dell'ambiguità della scienza, capace di "tamponare" emergenze temporanee, creandone di nuove. Tuttavia nemmeno Jevons, pur conoscendo bene la termo-

9. Cfr. B. Continenza, *Darwin. Una vita per un'idea, la teoria dell'evoluzione*, in "I grandi della scienza" n. 4, ottobre 1998.

10. Cfr. N. Georgescu-Roegen, *Bioeconomia*, op. cit., p. 83.

11. E. Haeckel, *Generelle Morphologie der Organismen*, Reimer, Berlin 1866, cit. in P. Greco e A. Pollio Salimbeni, *Lo sviluppo insostenibile. Dal vertice di Rio a quello di Johannesburg*, Bruno Mondadori, Milano 2003, p. 37.

12. Cit. in J. Lovelock, *Gaia: Nuove idee sull'ecologia*, Bollati Boringhieri, Torino 1991, p. 26.

13. J. Martinez-Alier, *Economia ecologica*, Garzanti, Milano 1991, cit. in P. Greco e A. Pollio Salimbeni, *Lo sviluppo insostenibile*, op. cit., p. 36.

dinamica e le teorie di Darwin, riesce a sfuggire all'ottimismo tecnologico tipico della disciplina economica, che lo porta a sperare nella scoperta di nuovi metodi per "riciclare l'energia" e che non gli permette di fare quel salto di qualità nella considerazione delle risorse naturali che servirebbe a ravvicinare economia e biologia.

Una costante riflessione sul problema continua, però, a venire quasi solo dal mondo scientifico. Ad esempio, il giovane biologo scozzese Patrick Geddes, attorno al 1800, dà alla "questione energetica" un contributo fondamentale mettendo a fuoco la differenza tra risorse naturali rinnovabili e non rinnovabili. Questo tema viene in seguito approfondito dal fisico tedesco Rudolf Clausius (del quale si è già parlato a proposito del principio dell'entropia) in un testo del 1885 intitolato *Über die Energievorräthe der Natur und ihre Verwerthung zum Nutzen der Menschheit* (Sulle riserve di energia in natura e sulla loro valorizzazione per il bene dell'umanità). Egli spiega come la non rinnovabilità delle risorse sia dovuta allo scarto di tempo che sussiste tra la velocità con cui l'uomo le consuma e i tempi geologici necessari alla natura per riprodurle. Clausius afferma inoltre che l'incredibile spreco di risorse attuato dagli uomini del suo tempo è una grave mancanza di rispetto nei confronti delle generazioni future, alle quali si sta "rubando" un patrimonio naturale che spetta loro di diritto, senza che esse si possano ribellare.

Geddes e Clausius non sono i soli scienziati capaci di uno sguardo interdisciplinare. È molto interessante il modo in cui ad esempio Ludwig Boltzmann, grande esperto di termodinamica, riesce ad intrecciare teorie biologiche e fisiche sostenendo che la lotta per la sopravvivenza di cui parla Darwin può essere vista come una lotta per accaparrarsi l'energia ancora disponibile<sup>14</sup>. Questa originale lettura apre poi la strada al lavoro del fisico ed ingegnere Popper-Lynkeus, il quale, in un testo del 1912 il cui titolo tradotto è *Il dovere generale della nutrizione come soluzione della questione sociale, basato su ricerche statistiche, con una dimostrazione della mancanza di validità teorica e pratica della teoria economica*, propone una sorta di revisione della gestione politico-economica delle risorse, che può essere riassunta nel seguente modo: contenere la crescita demografica; diminuire gradualmente l'uso delle risorse naturali esauribili; infine assicurare a tutti i cittadini il soddisfacimento dei bisogni primari mediante un'economia pianificata<sup>15</sup>. Con i dovuti aggiustamenti, queste proposte di Popper-Lynkeus andranno a costituire il contenuto della moderna "economia ecologica".

Di fondamentale importanza per l'analisi e la gestione del complesso rapporto tra economia, energia e ambiente, sono poi stati gli studi svolti negli anni '20 del '900 dal chimico Fredrick Soddy. Egli ha intuito perfettamente che la ricchezza di cui parlavano l'economia classica e neoclassica, essendo basata su calcoli astratti di origine matematica, era completamente "virtuale", priva di collegamento con la realtà delle cose. È inevitabile che, non avendo capito di essere strettamente legata alle condizioni materiali, l'economia non riesca a rispettare "i principi e l'etica di tutte le convenzioni umane" che trovano il loro limite nella termodinamica. Il lavoro di Soddy rappresenta poi un importante ruolo in campo energetico in quanto egli è il primo ad occuparsi delle relazioni tra massa atomica e produzione di energia e a chiedersi se una simile energia avrebbe potuto essere una risorsa sostituibile al carbone<sup>16</sup>. Sono diversi, gli scienziati a lui contemporanei che si stanno occupando di fonti alternative di energia. Tra gli altri, va sicuramente ricordato il chimico Giacomo Ciamician, che pose le basi teoriche per lo sfruttamento dell'energia solare<sup>17</sup>.

Nonostante questi campanelli d'allarme che vengono dal mondo della scienza, il modello economico dominante di inizio '900 continua a fare finta di niente, a ritenersi immune dalle difficoltà energetiche che le altre discipline hanno ormai individuato e accettato da mezzo secolo. La teoria neoclassica crede che ogni crisi potrà essere superata grazie alla propria capacità di crescere illimitatamente e grazie alle innovazioni tecnologiche che, se necessario, saranno in grado di sostituire completamente le risorse naturali con risorse prodotte dall'uomo.

### **L'economia ecologica e il movimento ambientalista**

Negli anni '60 del XX secolo vediamo nascere anche all'interno del mondo economico la volontà di superare il carattere eccessivamente specialistico del paradigma meccanicistico. Questo nuovo approccio, che, come già accennato, va solitamente sotto il nome di "economia ecologica", nasce dal lavoro svolto in quegli anni da Kenneth Boulding, Ernst Schumacher e Nicolas Georgescu-Roegen. Essi hanno il merito di avere finalmente sottolineato la forte analogia che esiste tra evoluzione biologica e sviluppo economico, dimostrando così che ciò che costituisce un limite per la prima, ne costituisce necessariamente uno anche per il secondo. L'economia, dunque, non può affatto ritenersi un sistema autosufficiente e completo in se stesso, ma, al contrario deve fare i conti col fatto che la natura è fondamentale per il suo sviluppo. Se, dunque, "la biosfera è finita, non cresce, è chiusa (con l'eccezione del costante apporto di energia del Sole), ed è regolata dalle leggi della termodinamica", allora anche l'economia "a un certo punto deve smet-

14. Cfr. P. Greco e A. Pollio Salimbeni, *Lo sviluppo insostenibile*, op. cit., p. 45.

15. *ivi*, p. 49.

16. Cfr. M. Ciardi, *Frederick Soddy: dalla chimica all'economia ecologica*, in Atti del XII Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica, a cura di F. Calascibetta e L. Cerruti, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze, 2007.

17. Si veda *Giacomo Ciamician. Chimica, filosofia, energia*, Conferenze e discorsi a cura di M. Ciardi e S. Linguerrì, Bononia University Press, Bologna 2007.

tere di crescere ed adattarsi a un equilibrio dinamico, simile a uno stato stazionario”<sup>18</sup>.



La nascita della società dei consumi ha portato ad un elevatissimo ritmo di produzione, il quale, lungi dall'essere l'antidoto contro ogni crisi economica (la "mano invisibile" di Adam Smith in grado di sorreggere il sistema economico), non fa che accelerare il naturale fenomeno dell'entropia. Infatti, come spiega molto bene Georgescu-Roegen, anche se il processo economico "non produce né consuma materia-energia, ma soltanto la assorbe e la espelle[...] ininterrottamente", esso provoca una consistente trasformazione qualitativa, poiché mentre "ciò che entra rappresenta *risorse naturali preziose*, ciò che ne viene espulso sono solo *scarti senza valore*"<sup>19</sup>. Egli, inoltre, critica fortemente il diffuso atteggiamento di cieca fiducia nelle innovazioni tecniche, perché capisce che considerarle l'unica soluzione utile può divenire un alibi per non mettere in discussione un modello di sviluppo irragionevole: "Con gli scienziati naturali che predicano che la scienza è in grado di superare tutte le limitazioni di cui soffre l'uomo, e gli economisti che gli vanno appresso nel non rapportare l'analisi del processo economico alle limitazioni dell'ambiente materia-

le dell'uomo, non sorprende che nessuno si stia accorgendo che non possiamo produrre frigoriferi, automobili o aeroplani a reazione «migliori e più grandi» senza produrre anche scarti «migliori e più grandi»<sup>20</sup>.

L'economista rumeno, ha infine avuto la grande capacità di combinare intuizioni come quelle di Boltzmann, Popper-Lynkeus e Soddy con il suo nuovo approccio, che egli chiama "bioeconomia": uno sviluppo economico che non tiene conto delle condizioni materiali nelle quali è radicato, dello stretto legame ciclico ed evolutivo tra individuo e ambiente e dei vincoli energetici ai quali è sottoposto non può essere sostenibile né ecologicamente, né socialmente, né tantomeno eticamente. Poiché la sopravvivenza della specie umana dipende completamente dall'energia disponibile, una situazione di eccessivo sfruttamento delle risorse non può che provocare conflitti sociali e condizioni di disuguaglianza, in quanto chi controlla la poca energia libera è sicuramente disposto a qualunque cosa pur di mantenere questa condizione privilegiata.

All'inizio degli anni '70, le idee della moderna "economia ecologica" riescono ad avere un certo successo anche grazie al clima culturale che si è venuto a creare in quest'epoca.

La crisi energetica del 1973, causata dalla guerra del Kippur tra arabi ed israeliani, con la quale il mondo arabo impone l'embargo petrolifero agli Stati Uniti e ai paesi occidentali, mostra per la prima volta concretamente che, nonostante molti pensino che le ipotesi degli ecologisti siano eccessivamente pessimiste, le risorse sono davvero esauribili e non sempre possono essere sostituite con macchine o altre tecnologie.

Un forte aumento della comune sensibilità nei confronti dei temi ambientali si è inoltre manifestato a partire dal 1962, anno in cui la biologa marina Rachel Carson pubblica il libro *Silent Spring*.

Attraverso un'attenta analisi, l'autrice denuncia gli effetti altamente pericolosi che il sempre maggiore riversamento di composti chimici nell'ambiente sta riportando sulla catena alimentare e in particolare su molte specie di pesci ed uccelli ormai quasi completamente sterminate (da questo il titolo *Primavera Silenziosa*). Particolarmente dannosi sono gli idrocarburi clorurati, come ad esempio il DDT (sigla di dicloro-difenil-tricloroetano) utilizzati nella produzione di insetticidi e pesticidi, che alcune ricerche dimostrano essere già presenti in alte concentrazioni sia negli alimenti che nei tessuti adiposi di diverse persone; ma anche i fosfati organici, i difenili polibromurati (PBB) e le materie non biodegradabili (ad esempio i detersivi), non sono da meno. La tesi della Carson è che le sostanze chimiche tossiche, indipendentemente dalle loro quantità, rappresentino una minaccia sia per l'equilibrio degli ecosistemi, che per la salute umana. Il dibattito scatenato da *Silent Spring* e le evidenze che progressivamente vengono a supportare le affermazioni della biologa americana portano gli Stati Uniti, nel 1972, ad abolire l'uso commerciale del DDT, segno del fatto che sta cominciando a prendere piede una maggiore consapevolezza della "questione ambientale" esistente.



Un ulteriore contributo in questo senso viene dalla pubblicazione, fatta nel 1974 da James Lovelock e Lynn Margulis, dell'articolo Omeostasi atmosferica a causa di e per la biosfera: l'ipotesi di Gaia, nel quale viene presentata l'idea che la Terra stessa deve essere considerata un organismo vivente che si evolve esattamente come gli ecosistemi e gli individui di cui essa è composta, i quali possono essere considerati suoi "organi". La proposta è certamente rivoluzionaria. Così come la teoria dell'evoluzione aveva messo in discussione il paradigma antropocentrico, l'ipotesi di Gaia (la Terra appunto) avanza ancora di un passo, superando questa volta la prospettiva darwiniana, che si preoccupa

18. H. Daly, *L'economia in un mondo pieno*, in "Le Scienze", n. 447, novembre 2005, p.114.

19. N. Georgescu-Roegen, *Bioeconomia*, op. cit., p. 81.

20. *ivi*, p. 88.

del benessere delle singole specie di organismi, per raggiungerne una nella quale “quel che conta è la salute del pianeta”<sup>21</sup>. Il lavoro di Lovelock e Margulis cerca di ritornare nuovamente ad una concezione unitaria delle scienze della Terra e della vita. È solo proteggendo il nostro pianeta, e non cercando di volta in volta rapide soluzioni ai problemi umani, che potremo proteggere anche noi stessi, piccole cellule di questo immenso organismo. L’uomo, unico essere vivente che essendo in grado di creare “strumenti” ha potuto oltrepassare i limiti imposti dalla biologia, non si rende conto che ciò che per lui è “progresso” per un essere ben più importante come la Terra possa essere un lento ma costante omicidio.

È soprattutto grazie al lavoro di queste grandi personalità scientifiche ed economiche del secolo scorso, che negli anni ’70 vediamo finalmente nascere un nuovo settore dell’economia contemporanea noto come economia delle risorse e dell’ambiente, il quale si occupa appunto di tutelare le risorse esauribili e di ricollocare i processi naturali all’interno del sistema economico.

Tuttavia, essendo quest’ultimo ancora basato sulle teorie neoclassiche e liberali, il risultato a cui questo nuovo tentativo giunge non è dei migliori. Infatti, ridurre l’uso e lo spreco delle risorse ambientali consiste per l’economia standard nell’attribuire a ciascuna di esse una “tassa”, cioè un prezzo. Ciò che accade, di conseguenza, è che chi se lo può permettere consuma ed inquina, mentre chi non può spesso non ha nemmeno accesso alle risorse necessarie per sopravvivere.

Ancora una volta, l’ambiente si ritrova schiacciato dalle dinamiche economiche, così come la necessità di una equa distribuzione delle risorse disponibili tra tutti gli esseri umani. O dovremmo addirittura dire viventi?

### Il concetto di sviluppo sostenibile

Il degrado ambientale, le condizioni di povertà estrema nelle quali versa più di un terzo della popolazione mondiale, la crescita demografica incessante che esercita una forte pressione sulle risorse disponibili, impone alla fine degli anni ’80, che la politica si faccia carico di riformare il modello di sviluppo. Nasce così, nel 1987, dallo studio della Commissione mondiale per l’ambiente e lo sviluppo presieduta dalla norvegese Gro Harlem Brundtland, il concetto politico di sviluppo sostenibile. Concentrandosi sulle connessioni che sussistono tra le condizioni ecologicamente e socialmente problematiche, la commissione Brundtland arriva ad affermare che per garantire a tutti (generazioni future comprese) il diritto a vivere in un ambiente sano e a soddisfare i propri bisogni, i paesi più ricchi devono adottare stili di vita compatibili con i limiti ecologici del pianeta rinunciando all’ideologia della crescita illimitata e i paesi più poveri devono cercare di frenare il rapido aumento demografico che sta creando un forte squilibrio relativamente alle capacità produttive degli ecosistemi. Il concetto di sviluppo sostenibile viene definito come: “un processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento di risorse, la direzione degli investimenti, l’orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che attuali”. Il processo economico, dunque, non deve affatto arrestarsi, ma semplicemente basarsi su obiettivi di sviluppo che escludano la crescita, che sfruttino le risorse (preferibilmente rinnovabili) a ritmi che non superino le capacità degli ecosistemi di rigenerarle, di generarne di alternative e di assorbire i rifiuti di produzione<sup>22</sup>.

Purtroppo però, come suggerisce Charles Maier, l’ideologia della crescita si è rivelata essere “l’ultima grande ideologia conservatrice”<sup>23</sup>, durissima da soppiantare. Perché le popolazioni occidentali non sono disposte a rinunciare allo stile di vita a cui sono abituate. Perché chi trae profitto dal commercio delle energie non rinnovabili si oppone alla diffusione di una cultura del risparmio energetico. Perché, essendo le tecniche per sfruttare le energie alternative ancora molto costose, il cambiamento porta inizialmente a maggiori spese, alle quali generalmente si preferiscono rapidi e sicuri profitti. Insomma perché, come ha ben spiegato l’economista Herman Daly, non si è ancora riusciti a comprendere fino in fondo che scelte antiecologiche prima o poi si rivelano sempre antieconomiche<sup>24</sup>.

### Un cerchio da richiudere

Trattando degli scienziati e delle opere che hanno influenzato il movimento ambientalista e la nascita di gestioni politiche volte a costruire un modello di sviluppo sostenibile, abbiamo però tralasciato un’opera che viene generalmente considerata uno dei massimi punti di riferimento dell’ecologismo mondiale. Infatti, *The Closing Circle*, testo pubblicato da Barry Commoner nel 1971, oltre ad affrontare ed approfondire tutti i temi dei quali già abbiamo parlato, ha la peculiarità di mettere direttamente a fuoco quella stretta connessione tra insostenibilità dell’economia standard e “questione dei ri-



21. J. Lovelock, *Gaia: Nuove idee sull’ecologia*, cit., p. 12.

22. H. Daly, *L’economia in un mondo pieno*, cit., p. 114.

23. Cfr. C. Maier, *The politics of Inflation in the Twentieth Century*, in F. Hirsch, J. Goldthorpe, *The Political Economy of Inflation*, Harvard University Press, Harvard (Mass.) 1978, cit. in P. Greco e A. Pollio Salimebeni, *Lo sviluppo insostenibile*, cit., p. 53.

24. H. Daly, *L’economia in un mondo pieno*, cit., p. 114.

fiuti”, che in altri testi deve invece essere cercata tra le righe<sup>25</sup>. Il biologo americano mostra come il rifiuto sia il necessario risultato, l’inevitabile controparte, di una produzione che non tiene conto della naturale connessione che sussiste tra tutte le cose: “Il rifiuto, più che un’entità, è una situazione [...] che si verifica quando i cicli restano aperti, quando si producono sostanze residuali senza prevederne un riutilizzo, o in quantitativi eccedenti le capacità di riutilizzo”<sup>26</sup>. Per richiudere il cerchio bisogna smettere di pensare in termini di “eliminazione” dei rifiuti, perchè si tratta di un’illusione che consiste semplicemente nel toglierceli dalla vista. Commoner presenta nel testo alcune “leggi” dell’ecosfera che riassumono il suo punto di vista, una delle quali è illuminante riguardo al nostro discorso: “Tutto deve andare da qualche parte”. Questo significa che tutte le tecniche di smaltimento generalmente utilizzate non sono altro che una “rimozione” del problema da una condizione di visibilità ad una di invisibilità, il che, osservato da una prospettiva più generale come quella dell’ambiente, equivale al non occuparsene affatto. Gestire davvero i rifiuti significa per Commoner intervenire all’origine della questione. Significa limitare i consumi, recuperare quanto è possibile, partendo dal presupposto che se un prodotto non ha altri impieghi oltre a quello iniziale, allora non deve essere nemmeno realizzato. Il tutto, contando anche sul supporto delle tecnologie, le quali vanno però utilizzate in modo nuovo. Bisogna investire su tecniche che permettano di sfruttare il meno possibile risorse non rinnovabili, come i combustibili fossili, privilegiando quelle illimitatamente disponibili quali l’energia solare ed eolica<sup>27</sup>.

### La visione Rifiuti Zero

Dal pensiero di Barry Commoner nasce il movimento di politica ambientale Rifiuti Zero (Zero Waste), di cui Paul Connet, docente di chimica ambientale dell’università di St. Lawrence a New York, è uno dei massimi esperti e promotori.

Mentre la classica gestione dei rifiuti parte dal presupposto che estrazione delle risorse, lavorazione, trasporto, vendita, consumo ed in fine eliminazione non siano altro che normali tappe della vita di qualunque merce, la filosofia Rifiuti Zero si basa sulla convinzione questo tipo di percorso sia il principale responsabile della situazione di degrado ambientale in cui ci troviamo, la quale può essere risolta solo attraverso un’intensa cooperazione tra comunità cittadine, industriali e leadership politica ed una reale “eliminazione” da mettere in atto ancora prima che il rifiuto cominci ad esistere<sup>28</sup>.

Le responsabilità della comunità consistono nel mettere in pratica tutte le possibili iniziative per ridurre la produzione dei rifiuti alla fonte. Il primo passo da fare è tornare a sfruttare completamente gli oggetti, a conservarli finchè possono essere di una qualche utilità, a ripararli piuttosto che sostituirli immediatamente come ci suggeriscono l’incalzante sistema produttivo e i messaggi pubblicitari.

In secondo luogo, di fondamentale importanza è la raccolta differenziata. Infatti, possiamo dire che i rifiuti nascono nel momento in cui vengono mescolati tra loro, perdendo così la loro funzione di oggetti. In particolare, devono restare separati dagli altri i rifiuti organici che generano metano ed acidi organici in grado di corrodere gli altri materiali. La raccolta può essere effettuata sia grazie a degli operatori che passano di porta in porta sia per mezzo di vari contenitori in cui vengono divise le diverse tipologie di rifiuti, che sono:

- Rifiuti compostabili, quindi di origine organica biodegradabile, la cui fermentazione viene accelerata ed inertizzata in appositi impianti, dotati di condizioni d’aerazione e di umidità che agevolano l’attività dei microrganismi. Questo processo permette di reintrodurli sul mercato come fertilizzanti (se derivano da una frazione solida) oppure come biogas (se derivano da una frazione liquida), utilizzabile in qualità di combustibile.

- Rifiuti riciclabili, ad esempio carta, plastica, vetro e alluminio, che una volta smembrati, puliti e trattati nei centri di riciclaggio possono essere utilizzati come materie seconde per fabbricare nuovi prodotti, riducendo così l’utilizzo di risorse vergini prelevate dall’ambiente.

Rifiuti domestici tossici (ad esempio batterie, vernici, ecc.), che pur costituendo solo l’1-2% dei rifiuti domestici, costituiscono seri problemi per lo smaltimento. A questo proposito la posizione di Rifiuti Zero è, chiaramente, che le sostanze tossiche non dovrebbero più essere messe in commercio. Per lo smaltimento di quelle già in circolazione, inve-



25. È vero nel testo di Herman Daly *L’economia in un mondo pieno*, più volte citato, la quantità di rifiuti da gestire è considerata uno dei parametri da tenere in conto per raggiungere l’obiettivo di uno sviluppo sostenibile, ma vale la pena ricordare Barry Commoner scrive ben 40 anni prima.

26. Cit. in A. Masullo, *Scelte e rifiuti. Il problema dei rifiuti: origini, conseguenze e possibili rimedi*, Roma 1990, Fondo Mondiale per la Natura, p. 17.

27. L. Cori, *Tanti cerchi da richiudere, intervista a Barry Commoner*, ARPA Rivista N. 1 Gennaio-Febrero 2006, p.10.

28. Cfr. *La teoria Rifiuti Zero*, a cura del Comitato Comasco Rifiuti Zero, [files.meetup.com/692715/TeoriaRifiutiZero.pdf](http://files.meetup.com/692715/TeoriaRifiutiZero.pdf)

ce, è di tentare di inertizzarli attraverso un trattamento meccanico biologico a freddo (TMB)<sup>29</sup> e, data la mancanza di alternative, stocarli in discarica, consapevoli che questa non può essere una “soluzione” del problema. In ogni caso Rifiuti Zero si oppone completamente al trattamento termico (inceneritore) ritenuto molto pericoloso per la salute umana, in particolare per quanto riguarda questa tipologia di rifiuti dichiaratamente tossici.

- Parte residua, cioè i materiali che non potendo essere né riutilizzati, né riciclati, né compostati, devono essere temporaneamente stoccati in discarica, andando così a costituire un totale spreco di risorse (ad esempio gli imballaggi o i materiali misti). Essi sono il frutto di una progettazione industriale sbagliata e i consumatori dovrebbero smettere di comprarli per far capire alle imprese quali sono i processi produttivi da evitare in futuro. Per quanto riguarda il loro smaltimento vale lo stesso discorso dei rifiuti tossici.



Anche le industrie, come abbiamo accennato, hanno nella strategia Rifiuti Zero importanti responsabilità. Il loro compito è prima di tutto quello di eliminare l'utilizzo di sostanze tossiche e di riprogettare i prodotti in modo che, una volta esaurita la loro utilità principale, il loro riutilizzo risulti più semplice e meno costoso. Eliminare gli imballaggi inutili, produrre oggetti facilmente decostruibili, evitare l'utilizzo di sostanze miste la cui separazione comporta costi altissimi e gravi rischi per la salute umana (è questo il caso delle plastiche in PVC -poli-cloruro di vinile- alle quali vanno “preferite” quelle in PET-polietilentereftalato- facilmente riciclabili), dotarsi di tecnologie che privilegino appunto il trattamento di “materie seconde” rispetto alle risorse vergini. Ma anche coinvolgere i consumatori, incentivandoli a restituire i materiali, ad esempio pagando i contenitori vuoti che vengono resi.

Questa “inversione di marcia”, generalmente ritenuta inaffrontabile a causa degli alti costi richiesti dai sistemi di raccolta, dalla manodopera impiegata, dalle tecnologie per il recupero e il riciclaggio, risulterebbe al contrario un grosso slancio per l'economia stessa se fosse applicata in maniera sistematica invece che frammentaria. Gli investimenti iniziali si tradurrebbero in poco tempo in un risparmio netto per l'industria, che non dovrebbe più spendere per l'acquisto di materie prime, nella creazione di nuovi posti di lavoro (addetti alla raccolta, allo smistamento e alla pulizia dei materiali) e infine nell'annullamento dei costi di smaltimento che discariche ed inceneritori comportano per le amministrazioni locali.

Per mettere in atto un sistema di questo tipo è necessario che le responsabilità delle comunità e delle industrie siano messe in collegamento ed incentivate da un'efficace leadership politica che parta appunto dal presupposto che è meglio investire in recupero piuttosto che in smaltimento. Invece di utilizzare le tasse dei contribuenti per aprire nuove discariche e costruire nuovi inceneritori, la pubblica amministrazione dovrebbe attribuire i costi di smaltimento ai produttori stessi, che sarebbero così motivati a produrre meno sostanze tossiche, meno imballaggi e più materiali recuperabili. Bisognerebbe imporre alle industrie di realizzare prodotti più durevoli, tassare i cittadini in proporzione ai rifiuti che producono e sovvenzionare chi pratica la raccolta differenziata. Si dovrebbe poi intervenire sul mercato, adattando i prezzi delle merci a quelli che sono i loro reali costi in termini di degrado ambientale e salute pubblica. In questo modo i prodotti ecologicamente sostenibili non solo diverrebbero più competitivi, ma addirittura più convenienti. Come sostiene l'ambientalista Paul Hawken “sprecare è molto costoso, è molto più economico fare la cosa giusta”<sup>30</sup>.

29. Per approfondire il discorso: <http://www.greenpeace.org/italy/ufficiostampa/rapporti/statement-rifiuti-urbani>.

30. Cfr. P. Hawken, *Natural Capitalism: The Coming Efficiency Revolution*, Hyperion Press, New York 1998.

## Storia e filosofia dei rifiuti

Solo che per accorgersi di questo si deve fare un immenso sforzo per cambiare il modo di considerare questo problema e per instaurare un solido sistema cooperativo. Rifiuti Zero, dunque, è un approccio che ancora prima di rivoluzionare il nostro modello economico si propone di intervenire sulla mentalità di consumatori, imprenditori e politici, che considerano la produzione di rifiuti il necessario scotto da pagare per il benessere sociale ed economico acquisito, facendo loro comprendere che attraverso una reciproca collaborazione si possono mantenere gli stessi risultati, anzi migliorarli, nel totale rispetto dell'ambiente che ci ospita e dei diritti delle generazioni future.

A dimostrazione della realizzabilità di questa strategia, Connet riporta sempre nelle sue conferenze alcuni esempi pratici di esperienze che hanno raggiunto grandi obiettivi. In Canada l'industria della birra ha ottenuto un recupero del 98% grazie a bottiglie di vetro riutilizzabili da oltre cinquant'anni (lo stesso recipiente svolge la sua funzione almeno 18 volte), che ha annullato i costi di smaltimento ed ha creato 2000 nuovi posti di lavoro. In Irlanda nel 2003 è stata introdotta una tassa di 15 centesimi sui sacchetti di plastica e da allora il loro consumo è diminuito del 92%. In alcune città italiane esistono supermercati in cui i clienti possono riempire i propri contenitori di shampoo, detersivi; in altri c'è un'apposita distribuzione d'acqua che permette di riutilizzare lo stesso recipiente almeno 40 volte. Infine a San Francisco, una città di 850.000 abitanti, con scarsissima disponibilità di spazio, è stato raggiunto nel 2000 il 50% di raccolta differenziata, si pensa di arrivare al 75% nel 2010 e si spera, per il 2020, di riuscire ad eliminare completamente (o quasi) il concetto di rifiuto<sup>31</sup>.

Purtroppo però, molti ritengono ancora la strategia Rifiuti Zero utopistica e, in genere, la soluzione dell'emergenza nella quale ci troviamo continua ad essere cercata solo attraverso un perfezionamento tecnico (che però richiede ingenti investimenti economici) dei tradizionali metodi di smaltimento: la discarica e l'inceneritore.

### La discarica

La discarica, attualmente il principale metodo di eliminazione dei rifiuti in Italia, è appunto il luogo in cui vengono definitivamente stoccati tutti i rifiuti indifferenziati, inertizzati ma non riutilizzabili, pericolosi (tra cui ceneri e scarti degli inceneritori). Esistono chiaramente diverse tipologie di discariche, sia a seconda dei rifiuti che vi sono destinati (è importante che diversi tipi di rifiuti non siano mescolati) sia in funzione delle caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche del sito prescelto. In generale esse possono essere di tre tipi: realizzate per riempimento di vecchie cave dismesse o di "fosse" scavate appositamente nel terreno; a livello del piano campagna e dunque con uno sviluppo in altezza; realizzate a ridosso di pendii, riempiendo gli squarci aperti lungo i versanti<sup>32</sup>.



Il principale problema di questo metodo è che i residui di molti rifiuti, soprattutto di RSU organici, restano attivi per oltre 30 anni e, attraverso i naturali processi di decomposizione anaerobica, producono numerosi liquami (percolato) altamente contaminanti per il terreno e le falde acquifere e liberano nell'atmosfera biogas (metano ed anidride carbonica) responsabili del surriscaldamento globale, generalmente chiamato effetto serra.

Le discariche moderne, sono di solito dotate di barriere a bassa permeabilità (naturali o artificiali) che hanno il compito di isolare la massa di rifiuti dal terreno circostante. Spesso sono presenti anche pozzi di raccolta sia per il percolato (che rimane però difficile da smaltire), sia per i biogas emessi, che vengono in seguito convogliati in appositi stabilimenti dove li si riutilizza come combustibile o comunque come fonte di energia. Ma nonostante tutte le moderne tecnologie, non si è ancora riusciti a recuperare completamente le fuoriuscite di liquidi e gas, ragion per cui le discariche vengono generalmente riempite per stratificazioni che alternano sabbie assorbenti o terriccio derivato dal compostaggio ai rifiuti. In questo modo però, si verifica una sorta di "congelamento" degli scarti stoccati. Tolto l'effetto "corrosivo" del materiale organico, i tempi di degradabilità dei residui normalmente conferiti in discarica (plastiche, vetri, metalli) possono variare tra i 300 e i 1000 anni<sup>33</sup>.

Un altro serio problema creato dalle discariche è che per molti anni dopo la loro chiusura richiedono continui controlli per evitare frane di rifiuti stoccati (per quanto riguarda quelle che su sviluppano in altezza) e cedimenti dei terreni recuperati sulle loro superfici (per quanto riguarda le cave riempite), che in ogni caso possono divenire solo aree verdi nelle quali è precluso qualunque tipo di attività di coltivazione o di costruzione.

31. P. Connet, *L'alternativa Rifiuti Zero 2020*, Milano, 23 marzo 2006, [files.meetup.com/422913/L'alternativaRifiutiZero2020byPaulConnet.pdf](http://files.meetup.com/422913/L'alternativaRifiutiZero2020byPaulConnet.pdf)

32. <http://www.arpa.emr.it/PIACENZA/opr/urbani/discarica.htm>.

33. [http://www.formeducambiente.apat.it/site/\\_files/QuaderniFormazione/RIFIUTI.pdf](http://www.formeducambiente.apat.it/site/_files/QuaderniFormazione/RIFIUTI.pdf).

Risulta dunque evidente che la discarica controllata non può essere affatto considerata una buona soluzione del problema rifiuti. Prima di tutto perchè tra tutti i metodi di smaltimento, questo è quello che dimostra con più evidenza come “eliminare” significa in realtà solo nascondere, accantonare un problema senza alcun rispetto per l’ambiente e per chi in futuro ci si troverà a vivere. Inoltre, a conti fatti, il preteso risparmio e la supposta facilità di gestione, che fanno della discarica uno dei metodi più utilizzati, vengono in realtà smentiti dai costi comportati dalle varie analisi del territorio necessarie per scegliere i siti adatti, dei moderni sistemi di sicurezza, dai controlli che seguono la chiusura, dallo spreco di risorse che “muoiono” stoccate e dall’inutilizzabilità dei terreni creati sopra gli ex-siti<sup>34</sup>. Appare dunque evidente che fare la cosa giusta sarebbe, in questo caso, davvero molto più economico<sup>35</sup>.

### L’inceneritore

Il metodo di smaltimento generalmente utilizzato in alternativa alla discarica e da molti considerato la soluzione tecnologica al problema dei rifiuti, è l’inceneritore, o, come spesso viene denominato in Italia in modo forse eufemistico, termovalorizzatore. Si tratta di impianti nei quali avviene un processo di combustione controllata dei rifiuti ad alta temperatura, durante il quale, il calore che si sviluppa viene recuperato, trasformato in vapore acqueo attraverso un sistema di trasferimento ed infine utilizzato per produrre energia elettrica o per il teleriscaldamento. Questo metodo è in genere utilizzato per trattare i rifiuti industriali, i rifiuti solidi urbani e i materiali infetti (provenienti da ospedali o da macelli). In alcuni casi, prima di procedere all’incenerimento



i rifiuti possono essere sottoposti a processi volti ad eliminare i materiali non combustibili (vetro, metalli, inerti) e la frazione umida (la materia organica come gli scarti alimentari, agricoli, ecc...). I materiali che derivano da questo trattamento vengono definiti CDR (ovvero *combustibile derivato dai rifiuti*) o più comunemente ecoballe<sup>36</sup>.

Il grave problema dell’incenerimento è che, nonostante i progressi compiuti dalla tecnologia, esso continua ad avere gravi conseguenze sia sull’ambiente che sulla salute pubblica, a causa delle emissioni di gas, delle ceneri che risultano dalla combustione e degli scarichi delle acque usate per pulire gli impianti. Inoltre smaltire le ceneri tossiche residue rende comunque necessario il ricorso alle discariche. Per quanto riguarda le emissioni in atmosfera, le sostanze maggiormente incriminate sono le diossine, i furani, gli idrocarburi policiclici aromatici e i metalli pesanti come, ad esempio, il piombo, il cadmio, il nichel, il mercurio, ecc. Tali composti vengono emessi in stato di adsorbimento alle polveri sottili che superano il sistema di abbattimento (filtri) dei fumi prodotti<sup>37</sup>. D’altra parte nel funzionamento di questi impianti si creano alcuni paradossi. Il primo rappresentato dal fatto che la necessità di mantenere temperature costantemente elevate per limitare la produzione di diossine, comporta una riduzione del diametro delle polveri che compromette così l’azione dei filtri. Una volta nell’aria, queste particelle, a causa delle proprie dimensioni possono inquinare gli alimenti oppure penetrare nelle vie respiratorie e, superando le naturali difese, depositarsi negli alveoli polmonari dando luogo ad effetti mutageni e cancerogeni<sup>38</sup>. Un ulteriore inconveniente è che “i sistemi di abbattimento operano una traslazione dei tossici dalla fase aeriforme ad una solida e/o liquida, in altri termini, una maggiore efficacia nella captazione dei tossici ha come contraltare una maggiore produzione ed una maggiore tossicità dei residui solidi”<sup>39</sup>. Un’ultimo problema connesso all’impatto ambientale e di salute è che l’eterogeneità del combustibile, solo in parte costituito da rifiuti selezionati o dal cosiddetto CDR, può dare origine a reazioni chimiche impossibili da prevedere e dunque da controllare<sup>40</sup>.

C’è poi un altro aspetto da considerare: la presenza di un inceneritore, necessitando di una continua disponibilità di combustibile, incentiva fortemente la produzione di rifiuti e penalizza metodi alternativi di gestione come la rac-

34. Stiamo qui chiaramente parlando delle discariche a norma di legge. Purtroppo, infatti, sono ancora molte le discariche abusive gestite da associazioni a delinquere, nelle quali, non solo non esistono sistemi di sicurezza, ma spesso vengono depositati rifiuti tossici e pericolosi che richiederebbero costosi trattamenti per essere inertizzati. Questa facile via di smaltimento è ancora molto praticata perchè comporta un risparmio immediato per chi deve smaltire questo genere di scarti e un consistente guadagno per le cosiddette “ecomafie”, che verranno però ripagati con abbondanti interessi tanto in termini ambientali, quanto in termini di salute pubblica.

35. Si fa qui riferimento alla frase sopracitata di Paul Hawken.

36. Cfr. A. Tornavacca e M. Boato, *Gli impianti di incenerimento*, in *Da rifiuti a Risorse*, Ecoistituto del Veneto, 1999.

37. *Ibidem*.

38. P. Connet, *L’alternativa Rifiuti Zero 2020*, Milano, 23 marzo 2006, cit.

39. M. Caldiroli, *Impatto Ambientale dei Processi di Incenerimento di Rifiuti*,

<http://www.minerva.unito.it/Chimica&Industria/MonitoraggioAmbientale/Monitoraggio.htm#Impatto>.

40. *ibidem*.

colta differenziata. A tale proposito Marino Ruzzenenti nel suo testo *L'Italia sotto i rifiuti* cita il caso di Brescia in cui a partire dal 1994, anno di installazione di uno dei più grandi inceneritori in Europa (circa 750.000 tonnellate l'anno), nell'arco di sette anni si è passati da 478.403 tonnellate di rifiuti prodotti a 641.239 con raddoppio della produzione pro capite giornaliera e scarsa promozione della raccolta differenziata<sup>41</sup>.

Tuttavia, nonostante le limitazioni e le controindicazioni via via individuate, in Italia, gli inceneritori continuano ad essere costruiti ed utilizzati. Perché questo? In primo luogo perché gli ingenti costi sono indirettamente sostenuti da incentivi statali sotto la forma di incentivi alla produzione di energia elettrica. Infatti, a lungo, questa modalità di gestione è stata considerata come produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (*assimilata*) alla stregua di idroelettrico, solare, eolico e geotermico, (in completa violazione delle norme europee)<sup>42</sup>.

In secondo luogo perché il dibattito sui rischi ambientali e sanitari di questi impianti è ancora molto acceso. Sono in diversi a sostenere che i progressi della tecnologia hanno ormai permesso di creare impianti il cui pericolo è assolutamente inferiore a quello determinato da altre fonti di inquinamento e che non si riesce a riscontrare una sicura connessione tra la presenza di inceneritori e il verificarsi di determinate patologie nelle popolazioni che vivono nelle circostanze. Rassicurati da questo genere di affermazioni, i cittadini non possono che considerare i "termovalorizzatori" come la bacchetta magica tecnologica in grado di fare scomparire i rifiuti, tra l'altro recuperandone "nuova" energia.

Al di là del dibattito sui problemi sanitari generati da questo metodo di smaltimento, Rifiuti Zero si oppone completamente all'incenerimento ritenendolo un enorme spreco di energia, dunque l'esatto contrario della valorizzazione del rifiuto. Bruciare i rifiuti, infatti, consente un recupero energetico molto inferiore rispetto al riciclarli. Inoltre, la combustione preclude qualsiasi tipo di ulteriore recupero del materiale e, quindi, comporta la necessità di ricorrere comunque all'utilizzo di risorse naturali vergini e non rinnovabili<sup>43</sup>. Il riciclaggio, al contrario, se i materiali vengono prodotti in modo ragionevole, consente di impiegare lo stesso materiale innumerevoli volte, riducendo notevolmente lo spreco di materie prime. Valorizzare davvero i rifiuti, significa allora, far riflettere le persone su ciò che acquistano, sulle molteplici utilità dei materiali, sulle risorse che perdiamo ogni volta che buttiamo qualcosa. La proposta innovativa di Rifiuti Zero è proprio questa: smettere di pensare al rifiuto come qualcosa di inutile (o al massimo utile solo per un guadagno economico fine a se stesso) e cominciare a vederlo come una materia seconda, che può sempre rinascere sotto nuove forme, tornare sul mercato ed essere di nuovo utile, tanto per l'economia industriale, quanto soprattutto per l'economia del nostro pianeta. Tutto ciò, chiaramente, non può avvenire senza l'aiuto della scienza e della tecnologia, le quali però non devono divenire una via di fuga che, risolvendo ogni emergenza, permette di deresponsabilizzare consumatori, industriali e leadership politica. Al contrario, le loro grandi potenzialità devono costituire lo strumento attraverso il quale concretizzare questa valorizzazione, che, se applicata ad ogni anello della catena produzione-consumo-recupero, non può che rivelarsi un reale guadagno per tutti.

41. Cfr. M. Ruzzenenti, *L'Italia sotto i rifiuti*, Jaca Book, Milano 2004, pg. 79.

Rapporto rifiuti 2007: <http://www.apat.gov.it/site/it-IT/>

42. DL 16 marzo 1999, n.79, art. 2, 15; vedi GSE-GRTN: "Normativa di riferimento", elenco norme di riferimento, PDF.

43. Cfr. M. Ruzzenenti, op. cit., p. 91.



**Il ruolo delle emozioni nell'apprendimento.**

Stanley I. Greenspan nel suo libro intitolato “L’intelligenza del cuore. Le emozioni e lo sviluppo della mente” (Mondadori, 1997) sottolinea come lo sviluppo cognitivo sia legato non solo al progredire delle capacità mentali di tipo operatorio, secondo lo schema di Piaget, ma anche allo sviluppo emotivo.

L’intreccio tra fase emotiva e fase cognitiva è stato a lungo tenuto “in ombra” dai piagetiani e non solo. Evidentemente un espediente per semplificare la ricerca e tentare di descrivere in modo analitico la costruzione delle capacità operatorie di tipo logico. Nella stessa ottica si colloca Bloom quando tiene separati gli obiettivi cognitivi da quelli affettivi.

Questo è secondo Greenspan l’anello mancante alle teorie di Piaget, questa la ragione per la quale queste teorie si applicano in campo didattico con difficoltà.

Nella rubrica precedente, intitolata “Lettera al lettore”, a partire dalla scoperta dei neuroni-specchio si era sottolineato come gli allievi potessero apprendere in maniera non superficiale, imitando il docente nel suo modo di porsi rispetto ai problemi, nei suoi atteggiamenti e nel suo modo di operare: modalità di apprendimento particolarmente valida nell’attività di laboratorio. È evidente che empatia e spirito di imitazione non hanno certo caratteristiche di tipo operatorio e cognitivo, ma risultano comunque strumenti ineliminabili dell’apprendimento.

Tutto ciò deve essere detto con buona pace di quei docenti che con supponenza (superficialità) contestano Piaget, salvo poi abbracciare ora l’una ora l’altra teoria a seconda di come tira il vento delle mode.

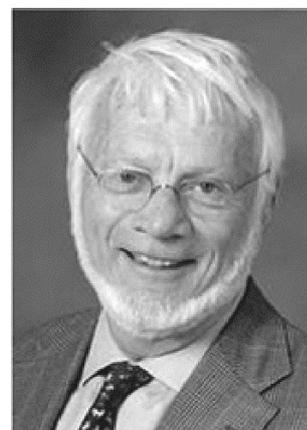
**Nobel per la chimica del 2009.**



Venkatraman Ramakrishnan



Ada E. Yonath



Thomas A. Steitz

Come è noto il premio Nobel per la Chimica per l’anno 2009 è stato assegnato all’inglese Venkatraman Ramakrishnan, allo statunitense Thomas A. Steitz e alla israeliana Ada E. Yonath per i loro studi sulla struttura e sul funzionamento dei ribosomi; questi sono organelli preposti alla sintesi delle proteine, costituiti da tre molecole di RNA e da proteine associate a formare delle complesse strutture quaternarie (fig. 1).

La struttura e quindi il funzionamento dei ribosomi sono stati chiariti attraverso la mappatura mediante raggi X.

Inutile sottolineare che si è trattato di una impresa eccezionale.

L’argomento, che non può certamente essere approfondito in questa sede, apre tuttavia alcuni interrogativi. Premesso che i premi Nobel per le materie scientifiche vengono riferiti alla Fisica, alla Chimica oppure alla Medicina, l’argomento oggetto del premio per la Chimica del 2009 dovrebbe essere inquadrato tra la Fisica e la Biologia Moleco-

lare, materia quest'ultima non contemplata dal regolamento del premio Nobel. Quindi dobbiamo chiederci se queste sfasature siano dovute ad un mancato aggiornamento delle norme che regolano il premio Nobel o se viceversa stanno saltando i vecchi paradigmi disciplinari.

Le perplessità aumentano se si considera che il premio Nobel 2009 per la medicina è stato attribuito ai ricercatori Elisabet Blackburn, Carol Grider e Jack Szostack per aver chiarito la funzione dei telomeri nella divisione cellulare.

Due argomenti, quello del Nobel per la Chimica e quello del Nobel per la Medicina, tutto sommato abbastanza prossimi e scarsamente distinguibili in termini strettamente disciplinari.

Gli ambiti disciplinari tradizionali, formalmente definiti a livello universitario, hanno importanza soprattutto sotto il profilo organizzativo e amministrativo, ma la ricerca per sua natura segue imprevedibili direzioni.

A questo punto la chimica di base sia universitaria

che secondaria non potranno, oltre un certo limite, ignorare le nuove direzioni della ricerca e richiederanno prima o poi di essere ristrutturate.

Questo problema era già stato proposto nel n. 2 di CnS dello scorso anno a partire dalla constatazione che stavano nascendo nuove riviste scientifiche a carattere interdisciplinare.

Ora apprendiamo da una lettera inviata al prof. Campanella, Presidente della SCI, dalla prof.ssa Luisa Mosti, Presidente della divisione di Chimica Farmaceutica, che è iniziata la pubblicazione del giornale "European Federation of Medicinal Chemistry", i cui contenuti, per quanto si può capire dal titolo, non sono quelli della tradizionale Chimica Farmaceutica ma si colloca tra la Medicina e la Chimica. Insomma qualcosa di simile alla storica Iatrochimica.



fig. 1

### Il surriscaldamento del pianeta.

Come è noto, i problemi ambientali sono connessi con le attività umane che a loro volta comportano l'immissione o il prelievo di grandi quantità di sostanze dall'ambiente. Inoltre tutte le attività comportano un grande consumo di energia, questa a sua volta è ottenuta in larga misura dalla combustione di combustibili fossili e la combustione, immette nell'atmosfera grandi quantità di anidride carbonica e sembra ormai appurato che l'immissione nell'atmosfera di grandi quantità di anidride carbonica sia la causa principale dell'effetto serra.

In altre parole siamo di fronte a due differenti problemi intrecciati tra loro, che rappresentano anche le due direttrici lungo le quali si sta muovendo l'attività di ricerca. Da un lato si consumano grandi quantità di combustibili fossili per cui si prospetta l'esaurimento delle scorte petrolifere e dall'altro si manifestano gli effetti nocivi per l'eccesso di anidride carbonica nell'atmosfera. Relativamente a questi problemi continuano ad affluire numerose note e news scientifiche<sup>1</sup>.

Data la complessità del problema non mancano dubbi circa l'interpretazione dei dati ambientali<sup>2</sup>, tuttavia continuamente affluiscono dati che sembrano confermare il legame diretto tra riscaldamento globale e aumento della CO<sub>2</sub> nell'atmosfera. È stato visto ad esempio che la calotta antartica si è formata principalmente durante un periodo caratterizzato da una concentrazione dell'anidride carbonica nell'atmosfera particolarmente bassa (*Le Scienze-Newsletters*, 14 Settembre 2009).

Il rimedio sinora suggerito consiste prevalentemente nell'uso di biocombustibili cioè combustibili ricavati da prodotti vegetali la cui formazione comporta la sottrazione di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Anche questo metodo tuttavia non è privo di inconvenienti, infatti può succedere che la coltivazione intensiva mirata alla produzione dell'olio vegetale, ad esempio la coltivazione di palme da olio (l'olio di palma è un ottimo biodiesel), comporta il taglio di ampie zone della foresta tropicale da un lato e la combustione di gran parte della vegetazione recisa dall'altro, alla fine il bilancio si può rivelare negativo. Si tratta del solito cane che si morde la coda, problema che viene riportato come "un errore nel protocollo di Kyoto" (*Galileo-Newsletters*, 12 Ottobre 2009).

1. Per quanto ci riguarda molte informazioni provengono dalle *Newsletters* de *Le Scienze*, dalle *Newsletters* di *Galileo*, da *Chemistryworld* e *RCSnews*, riviste della *Royal Society of Chemistry*, e dal *Journal of Chemical Education*

2. L. Lepori, *CnS*, 2008, 3, 128

Tuttavia se un più attento uso della cosiddetta bioenergia viene affiancato da un massiccio ricorso a impianti eolici, a installazioni geotermiche, maremotrici, solari e fotovoltaiche, è previsto che per l'anno 2030 verrà raggiunta l'autosufficienza energetica senza utilizzare combustibili fossili (*Le Scienze- Newsletters*, 25 Novembre 2009).

Per quanto riguarda l'esaurimento, che si teme prossimo, delle riserve petrolifere si potrebbe ricorrere, prescindendo temporaneamente dal problema del surriscaldamento dell'atmosfera, allo sfruttamento sia dell'idrato di metano, con tutti i problemi e difficoltà sulle quali abbiamo già riferito in questa rubrica<sup>3</sup>, sia allo sfruttamento delle sabbie bituminose (fig. 2): ambedue queste riserve di idrocarburi superano di gran lunga quelle degli attuali giacimenti petroliferi.



fig. 2

La produzione di un barile di sabbie bituminose, al momento sfruttate solo in Canada dove comporta tra le altre cose la distruzione della foresta boreale, provoca un alto tasso di inquinamento, impoverimento delle risorse idriche ed emissioni di gas serra. Il carattere inquinante è legato in buona parte alla presenza di acidi naftenici, tanto che è stata avviata una ricerca per eliminare tali acidi attraverso l'azione di microrganismi selezionati (*Le Scienze- Newsletters*, 9 Settembre 2009).

La ricerca mira anche a ottenere processi sufficientemente economici in quanto si tratta di competere con il prezzo di combustibili tradizionali che attualmente si aggira intorno ai 60\$ al barile.

La produzione di biocombustibili deve essere ottenuta senza compromettere il mercato dei prodotti alimentari, a questo scopo si deve operare in parte su prodotti alimentari in eccesso e in parte su vegetali non alimentari (*Le Scienze- Newsletters*, 26 Agosto 2009).

Con questo intento vengono battute le strade più disparate, ad esempio come è già stato accennato in una precedente rubrica alcune varietà di funghi contengono enzimi capaci di scindere la cellulosa in zuccheri (cellulasi) da cui ottenere biocombustibili quali l'etanolo e il butanolo.

Questi processi sono già stati utilizzati nell'industria, ma alcuni ricercatori californiani del Caltech hanno ottenuto nuovi enzimi attraverso processi di ricombinazione genetica guidata (structure guided recombination) dei funghi. Questa nuova cellulasi è capace di operare a 70-75°C, temperature alle quali la cellulasi normale si degrada (*Le Scienze- Newsletters*, 24 Marzo 2009).

In una ottica completamente diversa si muovono quelle ricerche che tentano di realizzare una fotosintesi su scala industriale.

Con questa strategia si potrebbe chiudere il cerchio nel senso che per produrre biodisel si sottrae anidride carbonica all'atmosfera. A questo scopo sono state modificate geneticamente delle microalghe capaci di fotosintesi in modo da poter funzionare anche con ridotte condizioni di illuminazione e soprattutto in condizioni compatibili con le procedure industriali.

È stato fatto infine il tentativo di ottenere microalghe capaci di produrre direttamente lipidi, idrocarburi e idrogeno (*Le Scienze- Newsletters*, 19 Dicembre 2008).

Oltre che sulle microalghe si agisce geneticamente anche sui batteri capaci di convertire direttamente le biomasse in biocombustibili.

Particolarmente interessante come materiale genetico di partenza sono alcuni batteri che vivono nelle sorgenti calde del parco dello Yellowstone (fig. 3) (*Le Scienze- Newsletters*, 19 Maggio 2009).

3. E. Niccoli, *CnS*, 2009, 1, 76

## Varie ed eventuali

Altre ricerche hanno carattere più spiccatamente applicativo. Ad esempio è stato calcolato che recuperando i residui del caffè delle catene di caffetterie si possono ottenere quantità di biocombustibili pari all'11-20% in peso di quelli ottenuti dalle fonti tradizionali (*Le Scienze- Newsletters*, 13 Dicembre 2008).

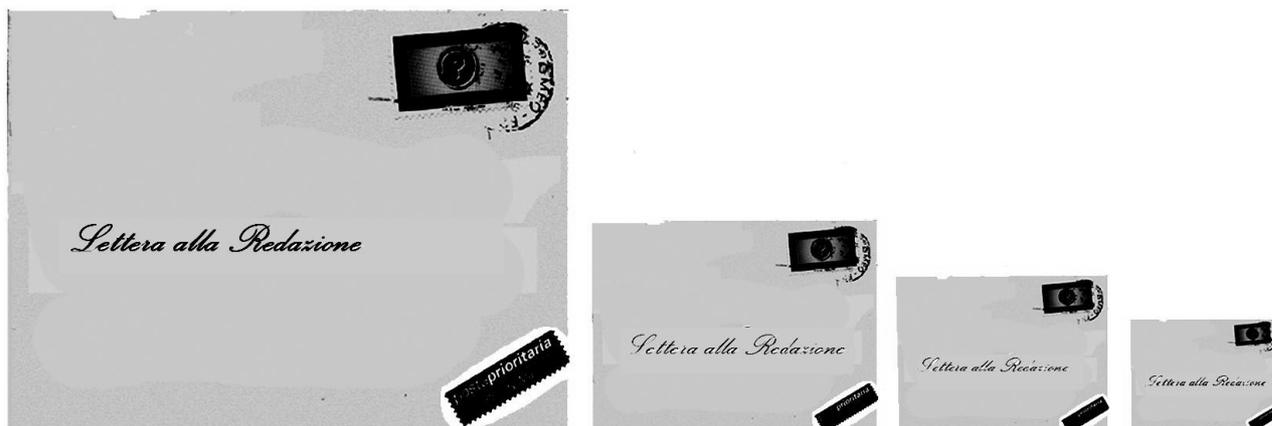
Con il presente numero della rubrica ci siamo proposti di effettuare attraverso le *news* una veloce carellata sui problemi che ruotano attorno alle cause del riscaldamento terrestre e al bisogno di energia del pianeta, una sorta di *review* delle *news*. Data la centralità del problema e data la frequenza delle *news* sull'argomento in una rubrica come la presente non si poteva ignorare la questione. Naturalmente il tema è tutt'altro che esaurito e nel prossimo numero ci proponiamo di aggiornare e completare la rassegna.

In particolare, se da un lato la ricerca si preoccupa di trovare le modalità che permettono di non immettere CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, dall'altro si sono sviluppate tutta una serie di ricerche tendenti ad individuare metodi capaci di sottrarre o comunque di confinare (sequestrare) la CO<sub>2</sub> prodotta senza immetterla nell'ambiente.

Infine saranno passate in rassegna *news* relative alle energie rinnovabili e a vettori di energia quale l'idrogeno.



fig. 3



### La costante di Avogadro: vuotare il mare col cucchiaino.

Quante “entità elementari”, quanti “oggetti”, ci sono, in una mole? Lo sappiamo tutti: all’incirca  $6,02 \times 10^{23}$ . Ma a che cosa corrisponde questo numero, in pratica, come ordine di grandezza? Al numero delle formiche in un formicaio? A quello dei fili d’erba sulla superficie di un campo di calcio? Oppure, citando Catullo (carne 7), a quello dei granelli di sabbia del deserto libico presso Cirene, fertile di laserpizio?

Molto, molto di più. Ma quanto?

Prendiamo in considerazione il mare. Quant’acqua c’è in tutti gli oceani del mondo? La Terra è una sfera, con una circonferenza  $C = 40\,000$  km, sicché il raggio della Terra risulta  $r_T = 6\,366$  km, avendo ignorato, per semplicità, la differenza tra circonferenza equatoriale e polare, e quella corrispondente tra i raggi. La superficie di una sfera è  $S = 4\pi r^2$ , per cui la superficie terrestre è  $S_T \approx 5,09 \times 10^8$  km<sup>2</sup>. Ragionando a spanne, gli oceani ricoprono all’incirca il 70% di questa superficie, ed hanno una profondità media tra i 3 e i 4 km. Quindi la superficie oceanica è  $S_O \approx 3,6 \times 10^8$  km<sup>2</sup>; scegliendo 3,5 km come profondità media, il volume  $V_O$  degli oceani risulta  $V_O \approx 1,2 \times 10^9$  km<sup>3</sup> =  $1,2 \times 10^{24}$  cm<sup>3</sup> =  $12 \times 10^{23}$  cm<sup>3</sup>. Proviamo ora, con un po’ di buona volontà, a svuotare il mare usando un cucchiaino da caffè da 2 cm<sup>3</sup>, una cucchiainata dopo l’altra. Quante volte dovremo ripetere questo gesto? Evidentemente,  $12 \times 10^{23}$  cm<sup>3</sup> / 2 cm<sup>3</sup> =  $6 \times 10^{23}$  volte. Gli oceani della Terra contengono approssimativamente “soltanto” una mole di cucchiainate d’acqua.

Questo risultato può forse colpire l’immaginazione degli studenti, ed aiutarli sia a familiarizzare con il concetto di mole, sia a memorizzare l’ordine di grandezza della costante di Avogadro.

### Addendum

Un valore più preciso della frazione della superficie terrestre coperta dagli oceani è il 71% [1] e non il 70%; similmente, la loro profondità media è 3,7 km e non 3,5 km [1]. Adottare questi valori nei calcoli (fermo restando il cucchiaino da 2 cm<sup>3</sup>) non altererebbe l’ordine di grandezza ( $10^{23}$ ) del risultato, ma solo la sua mantissa, portandola da 6 a 7. Altrimenti, occorrerebbe un cucchiaino un po’ più grande...

### Bibliografia

[1] S. P. Parker, McGraw-Hill Encyclopedia of Ocean and Atmospheric Sciences. McGraw Hill, New York, USA, 1980, p. 362.

**Claudio Giomini**

Università di Roma “La Sapienza”  
claudio.giomini@uniroma1.it

# GIOCHI DELLA CHIMICA 2010

## Il Calendario

**FINALI REGIONALI:** SABATO 15 MAGGIO 2010 ORE 10:00

**PREMIAZIONI REGIONALI:** SABATO 22 MAGGIO 2010

**FINALE NAZIONALE:** 30 MAGGIO 2010 (29/31 MAGGIO A FRASCATI)

**SELEZIONE OLIMPIONICA:** 31 MAGGIO 2010

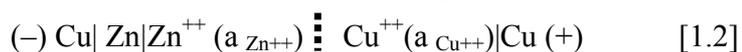
**ALLENAMENTO A PAVIA:** 07/12 GIUGNO 2010 e 12/18 LUGLIO 2010

**PARTENZA PER IL GIAPPONE:** SABATO 18 LUGLIO 2010

**OLIMPIADI IN GIAPPONE:** 19/28 LUGLIO 2010 A TOKYO (GIAPPONE)

**Errata corrige.** E. Niccoli – Approfondimenti e suggerimenti...

Lo schema [1.2] che compare sul n.3 di Cns 2009, a pagina 179 deve essere così modificato:



## ISTRUZIONI PER GLI AUTORI – Leggere attentamente!

### Informazioni generali

La rivista CnS – La Chimica nella Scuola si propone anzitutto di costituire un ausilio di ordine scientifico, culturale, professionale e tecnico per i docenti delle scuole di ogni ordine e grado e dell'Università; si offre però anche come luogo di confronto delle idee e delle esperienze didattiche.

Sono pertanto ben accetti quei contributi che:

- trattino e/o rivisitino temi scientifici importanti alla luce dei progressi sperimentali e teorici recenti;
- trattino con intento divulgativo argomenti relativi alla didattica generale ed alla didattica disciplinare;
- affrontino problemi relativi alla storia ed alla epistemologia della Chimica.
- illustrino varie esperienze didattiche e di lavoro, anche con il contributo attivo dei discenti;
- presentino proposte corrette ed efficaci su argomenti di difficile trattamento didattico;
- trattino innovazioni metodologiche, con attenzione particolare sia alle attività sperimentali, sia ai problemi di verifica e valutazione.

Sono anche benvenute comunicazioni brevi e lettere alla redazione che possano arricchire il dibattito e la riflessione sui temi proposti dalla rivista.

### Invio dei materiali per la pubblicazione

I testi devono essere inviati come attachment di e-mail al direttore della rivista (1) e al redattore (2). Devono essere indicati con chiarezza gli indirizzi (e-mail e *postale*) dell'autore al quale inviare la corrispondenza. Il testo deve essere **completo e nella forma definitiva**; si raccomanda la massima cura nell'evitare errori di battitura. La redazione darà conferma dell'avvenuto ricevimento.

### Correzione delle bozze

In caso di accettazione per la pubblicazione, il testo viene inviato all'autore di riferimento in formato PDF. Le correzioni devono essere segnalate entro brevissimo tempo; se sono in numero limitato, può bastare l'indicazione via e-mail; altrimenti deve essere inviata copia cartacea con l'indicazione chiara delle correzioni da apportare. Non sono ammesse variazioni importanti rispetto al testo originale.

### Dettagli tecnici – Importante!

a) Testo in generale: formato Word, carattere Times New Roman. ***La precisazione riguardo al carattere si rende necessaria in quanto l'eventuale modifica generalizzata produce automaticamente la scomparsa di tutti i caratteri particolari***

b) Riassunto. Gli articoli dovrebbero essere preceduti da un riassunto esplicativo del contenuto (max. 600 caratteri), in lingua italiana e in lingua inglese. Chi avesse difficoltà insormontabili per la traduzione in lingua inglese può limitarsi al riassunto in italiano. Non si richiede riassunto per le lettere alla redazione e per le comunicazioni brevi.

c) Strutturazione. Si suggerisce di strutturare gli articoli relativi a un lavoro di ricerca secondo le consuetudini delle riviste scientifiche: introduzione, corpo dell'articolo (contenente l'eventuale parte sperimentale), esposizione e discussione dei risultati ottenuti, conclusioni.

d) Intestazione. La prima pagina del testo di un articolo deve contenere:

- Titolo, chiaramente esplicativo del contenuto del lavoro (max. 50 battute);
- Nome (per esteso), cognome e istituzione di appartenenza di ciascun autore;
- Indirizzo e-mail degli autori o dell'autore referente.

e) Bibliografia. Si consiglia vivamente di riportarla secondo le norme che illustriamo con esempi:

- Lavori pubblicati su riviste: Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), rivista (abbreviazioni internazionali in uso), anno, volume (in grassetto), pagina. Es.:  
W. M. Jones, C. L. Ennis, *J. Am. Chem. Soc.*, 1969, **91**, 6391.
- Libri e trattati: Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), titolo dell'opera con la sola prima iniziale maiuscola, editore, sede principale, anno di pubblicazione. Se si fa riferimento a poche pagine dell'opera, è opportuno indicarle in fondo alla citazione. Es.: A. J. Bard, L. R. Faulkner, *Electrochemical methods*, Wiley, New York 1980.
- Comunicazioni a congressi: Autori (preceduti dalle iniziali dei nomi), indicazione del congresso nella lingua originale, luogo e data, pagina iniziale se pubblicata in atti. Es.: M. Arai, K. Tomooka, 49th National Meeting of Chemical Society of Japan, Tokio, Apr. 1984, p.351.

## Istruzioni per gli Autori

- f) Unità di misura, simboli, abbreviazioni. Le unità di misura devono di norma essere quelle del S.I., o ad esse correlate. I simboli devono essere quelli della IUPAC. E' ammesso il ricorso a abbreviazioni note (IR, UV, GC, NMR ecc.). Se l'abbreviazione non è consueta, deve essere esplicitata alla prima citazione. La nomenclatura deve essere quella della IUPAC, nella sequenza latina (es. carbonato di bario e non bario carbonato). Può essere usato il nome tradizionale per i composti più comuni: acido acetico, etilene, acido oleico, anidride solforosa ecc.
- g) Formule chimiche e formule matematiche. Devono essere fornite in forma informatica.
- h) Figure. Devono essere fornite in forma informatica in formato adeguato (WORD, TIFF, JPEG o altro), numerate e munite di eventuale didascalia. Nel testo devono essere indicate le posizioni approssimative. Deve essere assicurata la leggibilità delle scritte, anche dopo l'eventuale riduzione.
- i) Grafici e tabelle. Come per le figure.
- j) In caso di difficoltà, soprattutto per figure, grafici e tabelle, la redazione può chiedere l'invio in forma cartacea.

1) riani@dcc.unipi.it - Indirizzo postale: Pierluigi Riani - Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale - Via Risorgimento, 35 - 56126 PISA

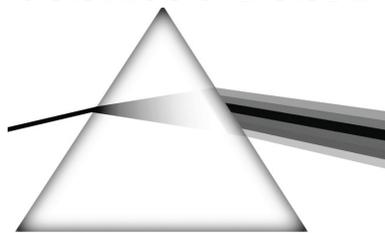
2) pasquale.fetto@didichim.org - Indirizzo postale: Pasquale Fetto - Via Carlo Iussi 9 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO).

# SPAIS

**Scuola Permanente per l'Aggiornamento  
degli Insegnanti di Scienze**

La scuola si pone come obiettivo l'individuazione e il conseguente approfondimento delle **conoscenze di base** che sono necessarie nel campo della biologia, della chimica e della fisica per comprendere e comunicare i contenuti fondamentali della **moderna ricerca scientifica e tecnologica**. In questo modo si intende perseguire due fini: da un lato una maggiore **sensibilizzazione** nei confronti della ricerca scientifica come protagonista del progresso, dall'altra la dimostrazione dell'importanza di **acquisire correttamente** quei concetti fondamentali che, spesso, appaiono astratti e privi di un riscontro pratico.

## V Edizione **Materia e luce**



**26 - 31 luglio 2010 in Sicilia**

Il tema proposto riguarda l'interazione radiazione-materia nelle sue più svariate manifestazioni, partendo da un esame della natura di radiazione e materia e l'apparentemente inestricabile legame che esiste fra di esse. Com'è nelle caratteristiche di SPAIS, il tema è fortemente interdisciplinare e si presta a discussioni trasversali alle discipline.

Alcuni dei possibili argomenti:

- Cos'è la radiazione elettromagnetica e da dove viene
- Interazione radiazione – materia
- Conversione della radiazione solare: fotosintesi (naturale e artificiale)
- Radiologia – imaging
- Fotochimica
- Campi elettromagnetici e organismi

### **SESSIONE POSTER**

Con l'obiettivo di mettere in evidenza le **ricadute didattiche** di SPAIS e di incoraggiare la **partecipazione attiva** dei corsisti, per l'edizione 2010 è possibile proporre contributi su:

- Esperienze didattiche progettate e realizzate sulla base dei temi trattati nelle **passate** edizioni
- Esperienze didattiche (anche sperimentali) in sintonia con il tema della **corrente** edizione e che quindi possono riguardare qualsiasi aspetto della interazione radiazione-materia

I contributi proposti saranno presentati tramite poster e saranno discussi in una apposita sessione. È anche previsto che alcuni dei contributi vengano selezionati dal Comitato Scientifico per brevi presentazioni orali.

Informazioni e iscrizioni:  
[www.unipa.it/flor/spais.htm](http://www.unipa.it/flor/spais.htm)