

cns

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

**CONCETTI CHIAVE
DELLA CHIMICA**

IL POTENZIALE CHIMICO

MISCUGLI E SOSTANZE

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



Anno XXVIII
Gennaio - Febbraio 2006

Direttore responsabile**Pierluigi Riani**

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

Past-Editor**Paolo Mirone**

e-mail: paolo.mirone@fastwebnet.it

Redattore**Pasquale Fetto**

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

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

Italia euro 48 - Paesi comunitari euro 58

Fascicoli separati Italia euro 12

Fascicoli separati Paesi extracomunitari euro 15

Gli importi includono l'IVA e, per l'estero le spese di
spedizione via aerea

Spedizione in abbonamento postale Art.2 comma 20/C Leg-
ge 662/96 Filiale di Bologna

Ufficio Abbonamenti

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

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

SOMMARIO**EDITORIALE**

Della rivista e altro **1**
di *Pierluigi Riani*

Giulio Natta **2**
di *Francesca Turco*

ESPERIENZE E RICERCHE

I miscugli e le sostanze **8**
di *Giuseppe Sciolla, Maria Aniella Spezziga*

Il potenziale chimico: potenzialità didattiche di una
grandezza poco conosciuta ma di grande utilità **12**
di *Michele D'Anna, Urs Kocher,*
Paolo Lubini, Silvano Sciarini

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

L'insegnamento delle scienze in Europa **20**
I Centri di Eccellenza
di *Liberato Cardellini*

LA CHIMICA NELLA STORIA

Tra fisica e chimica: dal flogisto agli Opuscules
di Lavoisier **26**
di *Marco Ciardi*

LA CHIMICA NELLE SSIS

Chimica e biologia molecolare due facce
della stessa medaglia - Parte I **30**
di *Alessandra Barbin*

SCI - CRUPPO GIOVANI

Fotorecettori biologici: il sole e la vita sul pianeta terra **41**
di *Pier Luigi Gentili*

LABORATORIO E DINTORNI

Una proposta didattica per l'introduzione
del modello atomico a gusci **50**
di *Roberto Soldà, Ermanno Niccoli*

RUBRICHE

LETTERA AL LETTORE **55**

Il dentro e il fuori della scuola
di *Ermanno Niccoli*

LETTERA A CnS **56**

RECENSIONE **57**

CONVEGNI E CONGRESSI **60**

ISTRUZIONI PER GLIAUTORI

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

Della rivista e altro

Dopo un primo cambiamento di facciata, avvenuto due anni fa, torniamo ad attuare qualche altra modifica alla struttura della nostra rivista; questa volta si tratta di qualcosa di più sostanziale.

Nel panorama delle riviste a carattere didattico-disciplinare, limitando ovviamente l'esame a quelle di indirizzo scientifico – sperimentale, l'aspetto di CnS – La Chimica nella Scuola è del tutto peculiare: i fascicoli contengono un numero assai limitato di pagine, stampate però su carta estremamente pesante. Il tutto deriva da un difficile compromesso fra diversi fattori:

- Il numero di articoli che pervengono alla redazione non è elevatissimo. I redattori fanno il possibile ma, come già è stato detto più volte, la nostra rivista non dovrebbe assumere un carattere eccessivamente "redazionale";

- Si è sempre cercato, anche a costo di qualche ritardo, di mantenere il livello iniziale di cinque numeri ogni anno;

- Le pagine per ogni fascicolo sono quindi poche; si cerca allora di mantenere una dimensione dignitosa usando carta spessa.

Sembra opportuno cambiare rotta, possibilmente senza azzardare troppo. Una cosa è abbastanza chiara: il livello del servizio reso ai lettori deve o crescere o, al limite, restare immutato. Alla redazione è sembrato possibile tentare una strada che, aumentando la quantità complessiva del materiale prodotto (sul livello qualitativo non si discute!), permetta una maggiore flessibilità, magari unita a un non disprezzabile vantaggio economico. Si tratta di passare da cinque a quattro numeri annui, fra i quali (orientativamente) un numero speciale a tema. Il numero di pagine complessive non dovrebbe variare se non in aumento; non verranno prodotti fascicoli eccessivamente pesanti in quanto verrà ridotta la grammatura della carta.

Il panorama del materiale offerto su CnS si è via via arricchito, e questo trend abbastanza positivo deve continuare. La rubrica "La Chimica nella Storia", a cura di Marco Ciardi, si è ormai consolidata; la rubrica "La Chimica nelle SSIS", a cura di Fabio Olmi, sta faticosamente muovendo i primi passi, anche se il materiale che viene proposto non è abbondantissimo. Andiamo ancora avanti: fino dal presente numero viene introdotta una nuova rubrica, dal titolo "I concetti chiave della Chimica", a cura di Giovanni Villani. È evidente il desiderio di far rinascere una

rubrica di alcuni anni fa che, forse anche a causa di un titolo troppo restrittivo (Le parole chiave della Chimica), si era esaurita in breve tempo.

Veniamo all'altro. Era mia intenzione di proseguire nell'opera iniziata dal past editor Paolo Mirone, facendo di CnS non solo un veicolo per la moderna didattica della Chimica, ma anche un centro di diffusione della cultura chimica negli ambienti scolastici. Era anche mia intenzione dedicare uno spazio non marginale, attraverso le lettere a CnS, al dibattito e al confronto delle idee nel campo della didattica, chimica in particolare e scientifica più in generale. Ebbene, l'auspicato dibattito manca quasi del tutto. Per un certo tempo abbiamo cercato di tenere a galla la barca attraverso lettere redazionali (ne viene presentata una anche in questo numero), ma è chiaro che la cosa non può funzionare all'infinito.

Eppure non sono mancate le occasioni di discussione: fra le questioni più controverse posso ricordare il problema delle teorie dell'evoluzione (un po' troppo semplicisticamente tradotto con Darwin sì – Darwin no) e le varie fasi della stesura della riforma scolastica Moratti. È chiaro che CnS non può essere scambiato per l'equivalente stampato di una chat-line; tuttavia sarebbe auspicabile poter avere qualche riferimento sulle idee dei lettori.

Il tutto si inserisce in un quadro molto preoccupante riguardo al destino scolastico delle discipline scientifico-sperimentali in generale e della Chimica in particolare; al riguardo non c'è assolutamente nulla da aggiungere a quanto più volte detto dalle tre associazioni disciplinari AIF, ANISN e DD-SCI che da tempo collaborano per difendere la diffusione di una seria cultura scientifica nelle scuole di ogni ordine e grado.

Viene quindi reiterato un caldo invito alla partecipazione di tutti i lettori: attraverso il dibattito sono sicuramente destinate a crescere sia la qualità, sia l'utilità della rivista.

Termino questa nota molto tecnica con una raccomandazione per gli autori: prima di inviare lavori da sottoporre per la pubblicazione, leggete con attenzione le istruzioni e seguitele minuziosamente, anche per quegli aspetti che possono sembrare secondari (tipo il carattere da utilizzare). La composizione della rivista non è gestita da professionisti, e certi tipi di intervento sul testo comportano difficoltà che a volte non vengono appieno valutate.

Giulio Natta

Porto Maurizio, 1903 – Bergamo, 1979

A cura di **FRANCESCA TURCO**



Giulio Maria Natta nacque a Porto Maurizio (Imperia) il 26 febbraio 1903. Terminato il liceo a soli sedici anni si distaccò dalla tradizione familiare, che avrebbe previsto la carriera giuridica, per iscriversi ad Ingegneria, in un primo tempo in Liguria per poi concludere al Politecnico di Milano. Si laureò in Ingegneria chimica giovanissimo, nel 1924, e divenne allievo interno di Giorgio Renato Levi nel laboratorio di Giuseppe Bruni, dove poté utilizzare una vera novità (per l'Italia): un apparecchio a raggi X per studi di strutturistica. Nel 1932 fu a Friburgo, dove lavorava Staudinger, con una borsa di studio della fondazione Volta per impraticarsi della tecnica della diffrazione elettronica, altra metodologia applicata allo studio delle strutture molecolari. Qui conobbe Rosita Beati, che sposò nel '35. Prima delle celebri avventure con Montecatini Natta aveva già collaborato con l'industria: con la stessa Montecatini per la produzione di formaldeide (1932), con Pirelli nel 1942 per la produzione di butadiene e con Bombrini Parodi Delfino (1945, oxosintesi). Svolsse quindi costantemente due carriere parallele: quella di consulente per l'industria accanto a quella accademica. Natta ottenne la libera docenza nel 1927, nel '33 vinse il concorso per una cattedra a Pavia, nel '35 venne chiamato a Roma e nel '37 a Torino, al Politecnico. La chiamata di Natta al Politecnico di Milano, nel 1938, per sostituire Mario Giacomo Levi, allontanato in seguito all'applicazione delle leggi razziali, ha suscitato e suscita ancora oggi accese polemiche per una presunta adesione al fascismo da parte di Natta. La situazione era decisamente molto complessa e un'analisi dettagliata sarebbe impossibile qui, ma alcuni punti fermi sono: Natta era senza alcun dubbio il candidato più qualificato e il suo aver accettato l'incarico servì pure ad evitare la nomina di un aspirante molto meno dotato; la posizione di Natta non era in conflitto con quella di Levi ed esiste la testimonianza che i rapporti personali fra i due rimasero sereni anche dopo il reintegro di Levi. In ogni modo l'attività didattica di Natta non fu particolarmente efficace in aula, ma fu fondamentale per la creazione di un solido ed efficientissimo gruppo di ricerca. L'abilità di Natta nel conciliare ricerca accademica e grandi realizzazioni industriali è del resto riconosciuta come elemento determinante del successo del nostro ingegnere chimico e, conseguentemente, dell'avventura della produzione del polipropilene.

L'interesse di Natta verso nuovi materiali e il suo rapporto con l'industria non terminarono con la guerra e la fine del piano autarchico, ma trovarono - anzi - nuovi stimoli nelle urgenze della ricostruzione di un paese segnato. Nel dopoguerra le doti accademiche non erano sufficienti a

condurre ottime ricerche, come dimostrano le difficoltà incontrate da altri ricercatori pur di alta levatura scientifica, come fu il caso del gruppo di Amaldi a Roma, rallentato da una acuta carenza di mezzi. Fu dunque quanto mai tempestivo l'incontro di Natta con Pietro Giustiniani, di lì a poco dirigente della Montecatini. Nel 1947 Natta e Giustiniani visitarono gli Stati Uniti per osservare le grandi industrie di oltre Oceano; uno degli elementi di diversità rilevati, rispetto alla situazione italiana, fu la diffusione nei laboratori di ricerca delle recenti tecniche strumentali, dalle varie spettroscopie alla spettrometria di massa; un secondo aspetto importante fu l'imporre degli idrocarburi come materia prima e la dismissione del carbon fossile.

Al ritorno Natta e Giustiniani strinsero un accordo di collaborazione fra la Montecatini e l'Istituto del Politecnico milanese, accordo che dopo qualche anno incluse un terzo partner, per un particolare progetto, dopo che Natta ebbe ascoltato una comunicazione di Karl Ziegler (nel 1952) sulla polimerizzazione catalizzata dell'etilene. Natta ne colse immediatamente le possibilità tecnologiche e, secondo le sue attitudini, anche quelle scientifiche: la sua sensibilità di strutturista dovette infiammarsi alla notizia delle linearità delle molecole ottenute. L'accordo fra Montecatini, Ziegler e Natta prevedeva l'acquisto dei diritti italiani della scoperta di Ziegler da parte di Montecatini e l'accessibilità, per Natta, delle ricerche effettuate a Mülheim. Natta fu quindi immediatamente informato del successo della polimerizzazione in blande condizioni grazie all'uso di un catalizzatore diverso: $TiCl_4$, la sua grandezza come chimico emerge dall'aver immediatamente compreso il meccanismo della catalizzazione e averlo adattato ad un diverso monomero di partenza: il propilene. Natta capì che la novità nel processo messo a punto da Ziegler era l'inserzione delle unità monomeriche fra il catalizzatore e la catena crescente, e non l'addizione all'estremità libera di questa come avveniva nei processi noti fino ad allora, questo avrebbe permesso di decretare la struttura del polimero scegliendo opportunamente il catalizzatore. Esso fu individuato nel $TiCl_3$, insolubile, al posto del solubile $TiCl_4$ utilizzato da Ziegler, poiché la regolarità superficiale del catalizzatore avrebbe determinato la cristallinità del polimero. L'intuizione di Natta fu brillantemente confermata: venne ottenuto polipropilene con struttura stericamente ordinata (isotattico), cristallino, con alto punto di fusione, lavorabile in fibre flessibili e tenaci o in

film, con alta resa in condizioni di processo economiche: uno straordinario successo scientifico, tecnologico e commerciale. L'evento scientificamente straordinario fu l'ottenimento artificiale di un polimero stericamente ordinato, quello commerciale derivò dalle qualità dei nuovi materiali: i vantaggi di una inalterabilità quasi completa furono immediatamente evidenti, mentre un certo tempo fu necessario perché si sviluppasse coscienza degli inconvenienti connessi, lucidamente proposta da Primo Levi nel Sistema periodico: "...è flessibile leggero e splendidamente impermeabile: ma è anche un po' troppo incorruttibile, e non per niente il Padre Eterno medesimo, che pure è maestro in polimerizzazioni, si è astenuto dal brevettarlo: a Lui le cose incorruttibili non piacciono".

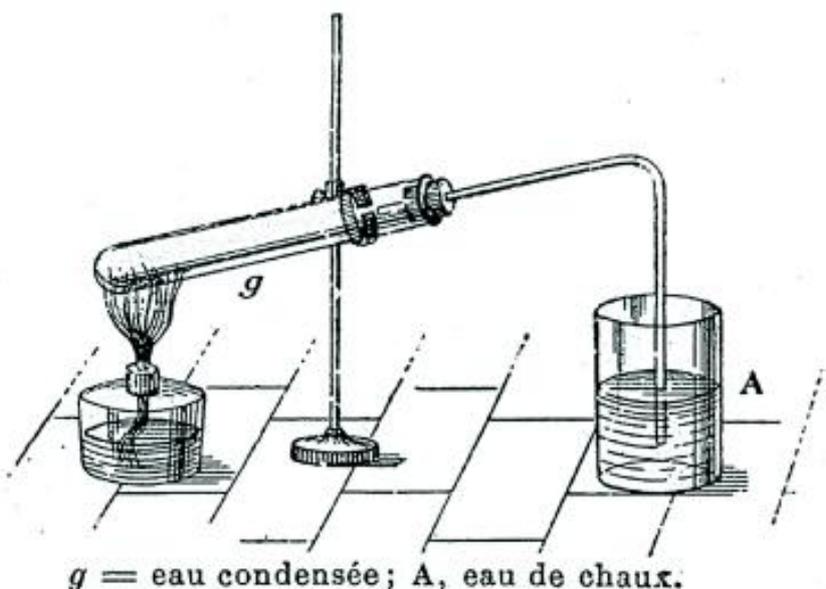
Il successo della sintesi del polipropilene non costituì tuttavia un punto di arrivo, al contrario aprì la strada a un nuovo e ricchissimo (sotto molteplici significati) settore di ricerca: il gruppo di Natta pubblicò più di 1200 articoli, 540 dei quali portano anche la firma del maestro, e ottenne la concessione di 500 brevetti. Nel 1962 la produzione di polietilene e polipropilene, iniziata da Montecatini nel '57 e articolata principalmente sui marchi Moplen (materiale plastico) e Meraklon (fibre), raggiunse le 250.000 tonnellate. Il decennio dal '53 al '63 può essere dunque connotato, dal punto di vista chimico, dalla ricerca sui polimeri, individuando gli estremi dell'intervallo temporale nell'assegnazione del Nobel per la chimica a Staudinger, per gli studi sulle macromolecole, e a Ziegler e Natta "per le loro

scoperte nel campo della chimica e della tecnologia degli alti polimeri".



Natta, che aveva avvertito i primi sintomi del morbo di Parkinson nel 1957, sarebbe riuscito a salire sul palco per ritirare il premio solo con grande difficoltà: fu dunque il Re, contro ogni etichetta, a scendere verso di lui per consegnarglielo. Natta morì a Bergamo il 2 maggio 1979 lasciando all'Italia un patrimonio industriale, malamente sperperato nei successivi decenni.

Per approfondire. P. Maltese, P. Olivieri, F. Protospataro, "Il Polipropilene: una storia italiana", Terni: Edizioni Thyris, 2003.



La chimica: una scienza sperimentale con una fitta rete di concetti

Con questo numero di CnS inizia una nuova rubrica, "Concetti della chimica", da me coordinata. Questa rubrica si riconnette a quella sulle "Parole chiave della chimica" presente su alcuni numeri della rivista a partire dal 1996 e ne allarga la prospettiva. La chimica è una disciplina con una preponderante ed imponente parte sperimentale. Minimizzare, tuttavia, l'importanza della parte concettuale, che è storicamente venuta fuori come razionalizzazione di questo enorme lavoro principalmente di laboratorio, non è possibile e neppure auspicabile. Lo scopo di questa rubrica è quello di indagare con differenti approcci sia i concetti generali della chimica sia i concetti che, seppur utili in ambiti più ristretti, svolgono un ruolo utile alla comprensione chimica del mondo materiale. Un esempio del primo tipo potrebbe essere il concetto di sostanza chimica, mentre il concetto di numero di ossidazione potrebbe essere un esempio del secondo tipo. Essendo poi la chimica una disciplina scientifica che si muove sia sul piano macroscopico delle sostanze sia su quello microscopico degli atomi e delle molecole, i concetti relativi in ambedue i piani sono parte integrante di questa rubrica.

Giovanni Villani

GIOVANNI VILLANI*

La chimica è essenzialmente una scienza sperimentale. Essa è nata dalle lavorazioni pratiche all'aperto e poi in laboratorio, ancor prima che dalla testa di qualche "erudito". Questa propensione eminentemente pratica della nostra disciplina si osserva anche ai giorni nostri, con aspetti sia positivi sia negativi. Questo non significa che vi siano pochi, e/o poco influenti, concetti chimici, anzi probabilmente è il contrario. Esiste, infatti, in chimica una fitta rete di concetti, più o meno importanti, che ci consentono di trasformare l'enorme mole di dati sperimentali che ogni giorno viene prodotta dalla chimica in una disciplina scientifica coerente ed unitaria. A prima vista potrebbe sembrare che questo discorso sul rapporto tra parte sperimentale e concetti si possa applicare a tutte le discipline sperimentali, e principalmente alla fisica, ma in realtà la situazione è molto diversa, oggi come ieri, per queste due discipline. Tale differenza non è accidentale, ma è collegata al tipo di spiegazione scientifica che la fisica e la chimica forniscono del mondo materiale e dei suoi eventi e, quindi, vale la pena di evidenziarla ed analizzarla. Il caso della biologia, poi, e le sue similitudini e differenze con la chimica, è anch'esso importante in questo contesto.

Chimica, fisica e biologia: analogia e differenze sull'uso di concetti

Prima di vedere il differente uso che queste tre discipline scientifiche fanno dei loro concetti fondamentali, credo sia opportuno accennare al quadro generale (vorrei dire filosofico, ma forse è pretenzioso) in cui queste tre discipline si posizionano e si interrelazionano. È quell'ambito metascientifico in cui si costruisce la "visione generale

della scienza", la sua unitarietà e le sue specializzazioni. Le posizioni in quest'ambito sono varie ed articolate, ma mi sembra di potere individuare due grosse alternative. Da un lato l'idea che vi sia "una sola scienza" e che le singole discipline scientifiche hanno un valore di divisione per argomento o un esclusivo valore storico. Questa visione riduttiva del valore e del significato delle singole discipline scientifiche ha alle sue spalle una lunga storia. A supporto di questa tesi spesso è stata usata l'idea che "il metodo scientifico", quello galileiano per intenderci, è da considerarsi unico, pur nelle sue differenti sfaccettature legate ai differenti ambiti di applicazione. Recentemente l'unicità del metodo scientifico è stata messa in discussione, fino al celebre libro di Feyerabend "Contro il metodo" [1]. Dall'altro lato un'idea di complessità (o sistemica) della scienza in cui le singole discipline acquistano una loro irriducibile caratterizzazione. Per il caso specifico della chimica in quest'ottica di complessità possiamo rifarci al lavoro di Cerruti su questa rivista [2]. Ovviamente, da queste due posizioni alternative discendono idee diverse per tanti aspetti e anche per l'uso dei concetti nelle singole discipline scientifiche. Io preferisco chiarire immediatamente la mia posizione a riguardo. Credo che un'ottica unitaria della scienza con differenziazioni disciplinari di comodo (al massimo di valore storico) sia inappropriata per descrivere la scienza odierna. Le singole discipline, infatti, al contrario dell'auspicio di molti, non sono venute a sparire col tempo e l'idea di una unità per omologazione non mi sembra che abbia fatto passi in avanti. Al contrario, la diversificazione disciplinare ha sempre più configurato i singoli ambiti in maniera complessa ed irriducibile. In particolare, io credo che la fisica, la chimica e la biologia siano differenti "prospettive" da cui si guarda la realtà scientifica e tale differenziazione sia un arricchimento per tutta la scienza. In questo contesto l'unità del-

la scienza, che pure è un valore e va perseguita, si può ottenere solo dall'interazione delle diverse discipline in ambito metascientifico. In pratica l'unità è da ricercare non riducendo le discipline scientifiche, ma riflettendo epistemologicamente sulle differenze e le analogie.

Ritornando al problema dei concetti nelle singole discipline scientifiche, due aspetti dell'attività dei fisici sono importanti in questo discorso: la ricerca di leggi come base della spiegazione fisica e la ricerca della teoria unificante che ci permetta di inglobare in un unico quadro concettuale tutti gli aspetti fisici (gravitazionali, elettromagnetici, quantistici, relativistici, ecc.) degli eventi. Quest'ultima è la cosiddetta "Teoria del tutto" [3], che ha coinvolto le migliori menti (uno tra tutti Einstein) in ambito fisico e che, ancora oggi, rappresenta uno dei filoni di ricerca di maggiore attività. In questa duplice ottica, i concetti fisici che vengono relazionati nelle leggi hanno una vita solo parzialmente autonoma: nel tentativo di riduzione delle teorie fisiche ad una teoria unitaria, infatti, essi si connettono, arrivando a fondersi. Si pensi ai concetti di massa ed energia [4]**. Nella fisica moderna si pone il problema se quella che è comunemente ritenuta un'equivalenza non sia, in realtà, un'identità e, di conseguenza, "massa" ed "energia" siano solamente due sinonimi della stessa realtà fisica. In effetti, è quasi casuale che nella grande maggioranza dei processi fisici noti la massa di un corpo e la sua energia si conservano separatamente. La natura si comporta abitualmente come se esistessero due leggi di conservazione solamente perché la parte predominante della massa-energia di un corpo spetta alla sua componente passiva (massa) e solo una frazione estremamente piccola a quella attiva (energia). A ciò concorre anche l'insufficiente sensibilità dei nostri procedimenti di pesata che portano ad una conservazione della massa e, allo stesso modo, dei metodi calorimetrici (e degli altri analoghi procedimenti) che portano ad una conservazione dell'energia. Quindi, il mantenimento della distinzione prerelativistica fra massa ed energia sembra in qualche misura giustificato, solamente da un punto di vista pratico. Inoltre, va tenuto presente che la ripartizione della massa-energia in una parte attiva ed una passiva dipende dalle circostanze. Nelle reazioni chimiche ordinarie, l'energia dei gusci elettronici interni è parte della componente passiva, mentre nei processi che avvengono ad alta temperatura è parte della componente attiva. Nelle reazioni nucleari che comportano riordino di nucleoni, l'energia dei gusci elettronici interni diviene parte della componente attiva, mentre le masse proprie dei nucleoni appartengono ancora alla parte passiva. Infine, nella fisica delle particelle elementari, la distinzione fra massa ed energia perde ogni significato, poiché tali particelle possono trasformare le loro masse o totalmente o per niente in energia.

La spiegazione chimica utilizza solo in misura minore il concetto di legge [5]. Essendo, infatti, la spiegazione chimica legata alla "composizione" degli oggetti, essa collega le loro proprietà statiche e le loro modificazioni dinamiche all'individuazione delle specie chimiche presenti sia nel piano macroscopico (elementi e composti) sia in quello microscopico (atomi e molecole) e alle loro trasformazioni (reazioni). Questo mondo pluralistico di milioni di individui si adatta ben poco alla trattazione per leggi, tipi-

ca degli "universali" (tutti gli enti hanno la determinata proprietà o il determinato comportamento), ed è molto meglio trattabile nella ricerca delle caratteristiche "generali" che permettono di raggruppare, e quindi concettualizzare, determinati ambiti. È da questo modo di procedere che ne discende il numero esiguo, se non nullo, di leggi chimiche contrapposto al numero elevato di concetti chimici. Quello che è rilevante in questo contesto è che questi concetti, nati storicamente in ambiti ristretti, sono poi stati ampliati e collegati ad altri concetti creando una potente spiegazione scientifica. Si pensi alle ricerche sui concetti di acido e di base di Arrhenius. Studiando le soluzioni acquose di varie sostanze Arrhenius aveva osservato che la temperatura di solidificazione di una soluzione non dipendeva dalla natura del soluto, ma dal numero di molecole che venivano messe in soluzione. Per interpretare questi risultati il chimico svedese ritenne utile esaminare il comportamento delle stesse soluzioni anche in funzione della conducibilità elettrica. Questi esperimenti convinsero Arrhenius che quando alcune sostanze si sciolgono in acqua si dissociano immediatamente in particelle cariche di elettricità, cioè in ioni, i quali devono quindi essere presenti nella soluzione indipendentemente dal passaggio della corrente. Anzi, il passaggio della corrente nella soluzione, avviene proprio grazie alla presenza degli ioni e le sostanze che messe in acqua formano soluzioni che non conducono la corrente elettrica evidentemente non si dissociano in ioni. Arrhenius ritenne, poi, che fosse prerogativa di tutti gli acidi quella di liberare ioni H^+ in tali soluzioni e che fossero proprio questi ioni H^+ a caratterizzare le sostanze acide, così come gli ioni OH^- dovevano caratterizzare le basi. Tali ricerche collegavano gli aspetti termodinamici (punti crioscopici), le leggi sull'elettrolisi introdotte dal chimico inglese Michael Faraday (1791-1867), che erroneamente aveva ritenuto che fosse la corrente elettrica a causare la dissociazione del soluto in particelle mobili cariche di elettricità positiva o negativa che aveva chiamato *ioni* dal termine greco che significava "viandante", e tutto il mondo delle reazioni acquose acido-base. In seguito, la generalizzazione dei concetti di acido e base in ambiti diversi dalle soluzioni acquose (si pensi alla chimica organica) è stato un potente mezzo di connessione tra aree chimiche sperimentalmente e concettualmente ritenute distanti.

Come per la chimica, anche per la biologia esiste il problema delle spiegazioni per leggi o per concetti. Le posizioni a riguardo sono differenziate. A titolo di esempio ne riportiamo due opposte: quella Ernst Mayr e quella di Brian Goldwin. Mayr sostiene che in biologia, invece di cercare di formulare leggi esatte e inderogabili, i biologi "organizzano abitualmente le loro generalizzazioni in modelli concettuali" [6]; mentre Goldwin asserisce che la biologia, come la fisica, deve scoprire le leggi che governano "l'ordine sottile dello stato vivente, che è un tipo particolare di organizzazione della materia" [7]. Vi è poi l'idea che le eventuali leggi biologiche (e il discorso si potrebbe riportare altrettanto bene alla chimica) sarebbero di natura diversa da quelle fisiche [8]. In particolare in biologia non esisterebbero leggi *prescrittive*, ma unicamente di tipo *proscrittivo*: "vincoli d'impossibilità" per qualsiasi tipo di struttura, meccanismo e funzione che non sia stato concretamente sedimentati dalla storia della Terra. La natura stessa di questi vincoli, con i loro tempi di bloccaggio o di "congelamento" [9,10], richiede una spiegazione di tipo

** Essendo tale libro fuori commercio, a richiesta, è possibile avere l'intero volume in formato pdf.

storico. Le regolarità e le discontinuità di tali vincoli, la loro espressione negli ecosistemi, così come nelle strutture cellulari o nelle macromolecole come il DNA, richiedono forme esplicative che implicano la *narrazione*, ponendo l'epistemologia della biologia di fronte al problema della *spiegazione storica*.

Riguardo al problema delle leggi specifiche in chimica e in biologia, esiste poi la posizione *più* radicale che potrebbe rimuovere il problema eliminando le singole discipline: "Le future teorie potrebbero benissimo venir espresse in nuovi generi di termini, funzionanti entro teorie di vasta portata, che offrono spiegazioni sia per i fenomeni ora chiamati biologici, sia per altri ora chiamati fisici o chimici. Per il vocabolario di una tale teoria unificante di vasta portata, la divisione fra termini fisici, chimici e biologici potrebbe non essere più applicabile in modo significativo, e la nozione di una biologia riducentesi in una analisi alla fisica e alla chimica potrebbe perdere il suo significato" [11]. La problematicità delle leggi chimiche e biologiche appaiono a molti chimici e biologi come una deficienza, come un qualcosa da rimuovere ricorrendo all'esempio fisico. A me, invece, sembra una normale conseguenza dell'approccio di queste due discipline. I questi ambiti, infatti, sia gli enti collettivi (come le specie) sia quelli individuali (come gli specifici enti) non possono dissolversi completamente nell'universale. Questo fa sì che, in chimica e in biologia, la scarsità di leggi specifiche è spesso supportata da un ruolo preponderante dei concetti che, in base ad un'accezione radicalmente diversa del loro ruolo, possono diventare analoghi per forza euristica a leggi. Infatti, per essere credibile, l'indagine scientifica non può fare a meno di oggetti concettuali *invarianti, identici* nelle varie applicazioni. È attraverso queste procedure concettuali che si stabilizza il metodo che permette di padroneggiare scientificamente la materia, ivi compresa quella differenziata qualitativamente fino al vivente, salvando sia i concetti di universale/generale sia il particolare e l'individuale. Nel passaggio dalla fisica, alla chimica ed, infine, alla biologia vediamo l'accentuarsi dell'importanza del concetto di individuo che poi in ambito della storia umana porterà ai Cesare e ai Napoleone, cioè a soggetti che, all'interno di contesti vincolanti, hanno comunque lasciato una traccia individuale. Nella impostazione classica della fisica l'individuo è eliminato dalla trattazione e bisogna attendere la strutturazione quantistica [12] e la termodinamica di non-equilibrio per una sua parziale rivalutazione. In chimica esistono gli individui collettivi, le specie chimiche come individui: non ha senso parlare di questo permanganato, ma del permanganato. In biologia, accanto al concetto di specie, viene fuori quello di popolazione ed, infine, quello di individuo singolo, quello da cui, per esempio, può partire una mutazione puntuale che può cambiare il destino di una specie. Infine, nelle cose umane esistono una moltitudine di individui, gli Antonio X, nati a, residenti in, coniugati con, ecc., che accanto alle istituzioni umane (stati, partiti, ecc.) svolgono un ruolo più o meno grande negli avvenimenti presenti e futuri (tramite le loro idee).

La struttura concettuale della chimica

6 Cerchiamo adesso di delineare, veramente a grandi linee, la struttura concettuale della chimica. Questo è un compito tutt'altro che facile e, soprattutto, tutt'altro che univoco. A mia conoscenza, pur essendo uno tale schema con-

cettuale presente in molti autori, nessuno si è cimentato esplicitamente in questo compito. La struttura concettuale della chimica è sicuramente sottesa in tutti i programmi ministeriali e, quindi, in tutti i discorsi di didattica sui "nuclei fondanti" o altri termini simili. Va, comunque, precisato che la struttura concettuale proposta in ambito didattico è senz'altro relazionata alla struttura concettuale della disciplina scientifica chiamata chimica, ma non è ad essa coincidente. Stimolare una discussione sulla struttura concettuale della chimica è, quindi, importante in generale e benvenuta in una rivista di didattica della chimica. Per delineare la struttura concettuale di questa disciplina, due aspetti generali della chimica vanno tenuti in considerazione: da un lato il doppio piano macroscopico-microscopico su cui si muove la chimica, dall'altro i concetti generali, filosofici prima ancora che scientifici, di ente e trasformazione. Siccome la spiegazione chimica è principalmente per "composizione"[3], sia nel piano macroscopico sia in quello microscopico, si capisce l'importanza dell'individuazione degli enti presenti in un determinato sistema; è altrettanto evidente che, siccome una determinata composizione si può modificare nel tempo, anche il concetto di trasformazione assume in questa disciplina un peso altrettanto importante. Di passaggio notiamo che questi due concetti, enti e trasformazioni (essere e divenire, in ambito filosofico), sono presenti anche in fisica e in biologia. Tuttavia, in queste tre discipline il peso relativo di questi due concetti chiave della spiegazione scientifica non è uguale. In fisica, il ruolo degli enti rispetto alle trasformazioni è praticamente nullo o irrilevante, esso aumenta in chimica dove sia gli enti sia le trasformazioni svolgono ruolo fondamentale, per finire alla biologia dove gli enti prevalgono sulle trasformazioni. Il discorso è simile, se non uguale, a quello appena fatto per il concetto di "individuale".

I concetti chimici legati agli enti chimici possono essere di due tipi. Un primo tipo raggruppa i concetti come "elemento", "composto", "atomo", "molecola", "ione", "isotopo", ecc., concetti che individuano l'ente chimico. Un secondo tipo di concetti, legato sempre all'ente chimico, sono i concetti che individuano una particolare proprietà di questo ente. Esempi di questo secondo tipo di concetti sono: "struttura molecolare", "orbitale atomico o molecolare", "composto magnetico", "conduttore ed isolante", ecc. Non esiste una distinzione assoluta tra questi due tipi di concetti. Per esempio il concetto di "ione", da noi inserito nel primo gruppo perché serve ad individuare l'ente chimico, potrebbe essere inserito anche nel secondo gruppo con la considerazione che l'essere "ionico" (comunque "ionico" non "ione") è una proprietà elettrica dell'ente chimico in esame.

Il concetto di ente chimico, sia nel piano macroscopico sia in quello microscopico, non è equivalente a quello di sostanza chimica/molecola perché sotto tale etichetta più vasta possiamo ritrovare sia specie stabili sia instabili. Per esempio, mentre non si parla di molecola per il complesso attivato di una reazione in quanto instabile, il complesso attivato è a tutti gli effetti un ente chimico le cui caratteristiche sono utilizzate per valutare grandezze chimiche come la velocità di una reazione. Un ente chimico può essere individuato a vari livelli di determinazione in funzione di uno scopo. Se per esempio si dice che l'acqua è costituita da due atomi d'idrogeno ed uno di ossigeno, gli enti sono stati individuati a livello atomico, ma i possi-

bili isotopi di questi due atomi non sono stati precisati. Questo perché, evidentemente, per lo scopo che ci si è proposto si ritiene che (a torto o a ragione) tutti gli isotopi si comportano allo stesso modo o che le proporzioni tra i diversi isotopi siano univocamente fissate.

Un aspetto fondamentale, a volte ignorato in chimica, è il rapporto tra l'ente considerato e l'ambiente in cui si trova. Si pensi al caso della molecola isolata studiata dalla chimica quantistica o, nel piano macroscopico, all'impurezza in una sostanza chimica. Generalmente si studia il "modello" teorico sia esso la molecola isolata o la sostanza pura. Si aggiunge poi l'interazione che aiuta a rendere "più realistico" il sistema studiato. Questo schema va bene quando l'interazione tra l'ente e l'ambiente è abbastanza piccola da consentire una netta separazione e successiva perturbazione. Quando invece il sistema interagisce pesantemente con l'ambiente occorre che la loro interazione non venga trattata in maniera perturbativa. È questo il caso dei sistemi viventi che avulsi dall'ambiente "muoiono", in senso concettuale oltre che reale. Anche la chimica sperimenta questa interazione forte con l'ambiente. Il concetto di specie chimica, senza la sua "propensione" a trasformarsi, a reagire, è quasi inutile e particolarmente povero. Passiamo, quindi, a considerare l'altro ambito concettuale fondamentale per la chimica: quello reattivo.

Il concetto di trasformazione, fondamentale in tutti gli ambiti scientifici, assume un nome particolare in chimica: reazione. L'esigenza di un nome specifico per le trasformazioni chimiche non è casuale e si riconnette al fondamentale ruolo svolto dal concetto di trasformazione in tale disciplina. La fisica, come detto, è tutta incentrata sul processo al punto che Popper può dire "The universe now appears to be not a collection of things, but an interacting set of events or processes" (l'universo ora appare essere non una collezione di cose, ma un insieme interagente di eventi o processi). La chimica e la biologia, invece, hanno sviluppato parallelamente il concetto di specie e tale parallelismo si applica, non casualmente, anche alla nomenclatura. Ambedue, infatti, prevedono un molto altamente pluralistico. La differenza sostanziale tra queste due discipline è che mentre le specie chimiche sono state sempre considerate trasformabili quelle biologiche solo dopo Darwin (o se si vuole Lamarck) lo sono diventate. Non è sola una questione storica, ma una questione di scala dei tempi. Le trasformazioni chimiche sono veloci "abbastanza" da rientrare nella scala dei tempi umani, quelle biologiche no.

In natura una trasformazione può avvenire sia per cause intrinseche al sistema studiato sia per cause estrinseche come perturbazioni ambientali o interazioni specifiche con altri enti chimici. Nel concetto di trasformazione chimica, sono largamente predominanti le cause estrinseche al punto che anche le prime, quelle esclusivamente intrinseche, possono essere viste come niente altro che una fotografia temporale che ha escluso le cause estrinseche precedenti. Se, per esempio, un sistema è instabile ed evolve spontaneamente verso una situazione di equilibrio, in questo caso abbiamo delle cause intrinseche che portano alla modificazione della composizione del nostro sistema. Tuttavia, se ci si pone la domanda "Come è stato creato tale sistema instabile?", le cause estrinseche rientrano in gioco. Questo ci ha portato a dire che "la reattività di una sostanza non può essere intesa in senso assoluto, ma

solo in rapporto ad altre sostanze, essa non è una proprietà molecolare" [13]. Nonostante ciò sia ben chiaro ai chimici con i concetti di acido/base e ossidante/riducente, la chimica ha anche sempre ricercato un collegamento tra i concetti legati agli enti e quelli legati alle reazioni. L'idea che la reattività di una molecola sia "inscritta" nella sua struttura e esplicitata nella sua formula di struttura è stata a lungo (ed è in gran parte ancora) presente in chimica [14]. Paoloni ci mette in guardia che sebbene "l'evoluzione dinamica della molecola è prefigurabile dalla sua struttura (condizioni iniziali), ma le modalità di attuazione sono di regola altrettanto influenti sul decorso della reazione e contribuiscono a determinarne il punto di arrivo" [15]. Per la chimica, più in generale, l'ipotesi che ogni proprietà di una sostanza sia "legata" direttamente o indirettamente ad alcune caratteristiche della sua struttura molecolare è considerata valida anche quando è sconosciuto il rapporto specifico.

In conclusione, la fisica, la chimica e la biologia fanno un differente uso di termini concettuali a causa di una differente spiegazione scientifica: per legge in fisica, per composizione in chimica e storica in biologia. Questo non significa che in ogni disciplina non siano presenti anche modi diversi di spiegazione, ma solamente la preponderanza di un tipo di spiegazione particolare in ogni disciplina. Ritornando alla chimica, è ben evidente, quindi, l'importanza dell'analisi concettuale di questa disciplina e l'evidenziazione della rete che connette questi concetti, rendendo collegati ambiti lontani sperimentalmente. In particolare, va sottolineata la duplicità di concetti chimici: quelli legati agli enti e quelli alle reazioni.

Riferimenti Bibliografici

- [1] P. K. Feyerabend, *Contro il metodo. Abbozzo di una teoria anarchica della conoscenza*, Feltrinelli, Milano 2002.
- [2] L. Cerruti, *La chimica nella Scuola*, XXVI (2004) 71.
- [3] J. D. Barrow, *Teorie del tutto*, Adelphi, Milano 1991.
- [4] G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli 2001, Cap. 2.
- [5] G. Villani, *idem*, Cap. 11.
- [6] E. Mayr, *Storia del pensiero biologico*, Bollati Boringhieri, 1990.
- [7] B. Goldwin, in P. Greco, *Evoluzioni. Dal Big Bang a Wall Street. La Sintesi Impossibile*, CUEN, Napoli 1999, pp. 84-85.
- [8] E. Gagliasso, *Verso un'epistemologia del mondo vivente*, cit., p. 29-30.
- [9] M. Buratti, *Lo stato vivente della materia*, UTET, Torino 2000.
- [10] F. Amaldi, *Evoluzione della selezione*, in *Selezione e selezionismi*, a cura di S. Forestiero, M. Stanzione, Franco Angeli, Milano 2001.
- [11] C. G. Hempel, *Filosofia delle scienze naturali*, il Mulino, Bologna 1972, p. 158.
- [12] G. Villani, *idem*, Cap. 6.
- [13] G. Villani, *Epistemologia XVI* (1993) 191.
- [14] L. Paoloni, *Nuova didattica della chimica*, Società Chimica Italiana, Roma 2005, Cap. II e III.
- [15] L. Paoloni, *idem*, p. 27.

I miscugli e le sostanze

GIUSEPPE SCIOLLA*

MARIA ANIELLA SPEZZIGA**

Riassunto

Viene proposto un percorso didattico per l'introduzione dei concetti di miscuglio e sostanza nei corsi di chimica del biennio delle scuole superiori. L'impostazione, alternativa a quella che parte dalle definizioni operative, nasce dalla riflessione sulle conoscenze iniziali degli studenti e sulle difficoltà di apprendimento ad esse collegate.

Abstract

In this paper the authors suggest a teaching activity introducing the concept of mixture and substance for the students in the first two years of secondary school. The general lines consider the students previous knowledge about "the mixture" and "substance" in order to detect the reasons for their learning difficulties and then to take an alternative approach which does not begin with the operative definitions based on the methods of separation.

1. Premessa

I miscugli e le sostanze sono di solito insegnati a partire dalle loro definizioni operative, basate sui metodi meccanici e fisici di separazione [1]. Tuttavia nella nostra esperienza didattica questa impostazione si è rivelata poco soddisfacente. Infatti, come verificato dai questionari di fine anno, l'argomento è risultato di difficile comprensione ed il relativo livello di apprendimento deludente.

Mirone [2] ha proposto di differenziare i concetti di miscuglio e di sostanza su base "linguistica", cioè sulla considerazione che il nome delle sostanze è usato sempre al singolare mentre quello dei miscugli è usato sia al singolare sia al plurale. Questa impostazione è didatticamente attraente ma, dato che essa rimanda a un momento successivo la comprensione della definizione operativa, è a nostro parere utilizzabile solo come rinforzo di una concettualizzazione già almeno parzialmente acquisita.

Con questo lavoro abbiamo preso in considerazione le concezioni iniziali degli alunni per individuare meglio i motivi delle loro difficoltà di apprendimento e per tracciare, di conseguenza, un possibile percorso alternativo di costruzione dei concetti di miscuglio e sostanza.

2. Miscugli e sostanze secondo i nostri alunni

Le conoscenze iniziali degli studenti di prima superiore sono state ricavate: da un questionario di ingresso e dalla

sua discussione; da un'indagine sull'attività pratica e di laboratorio nella scuola media; dall'esecuzione e discussione di alcune prove di mescolamento.

Il questionario comprendeva le seguenti tre domande aperte:

- Descrivi, facendo anche alcuni esempi, che cosa è, secondo te, un miscuglio
- Descrivi, facendo anche alcuni esempi, che cosa, secondo te, **non** è un miscuglio.
- Descrivi in che modo, secondo te, è possibile distinguere un miscuglio da un non-miscuglio

Le risposte sono state classificate in base alle concezioni iniziali di miscuglio e sostanza possedute dagli alunni.

a) Miscuglio è ciò che si ottiene per mescolamento (ad opera dell'uomo) di materiali naturali che non sono visti, in genere, come miscugli. L'attività di "manipolazione" delle materie prime da parte dell'uomo viene interpretata come "mescolamento" e non come separazione di miscugli.

i) Un non miscuglio è per esempio un materiale chimico trovato in natura, che non ha bisogno di modificazioni o raffinazioni. [...] I miscugli dai non miscugli si distinguono perché in un miscuglio vengono utilizzati diversi materiali, mentre **in un non miscuglio l'uomo non deve intervenire per modificare le sostanze trovate in natura.** (Antonio)

ii) Non sono miscugli quelle sostanze che sono complete così come sono, senza bisogno di trasformazioni per renderle migliori. (Gabriele)

iii) Per me un miscuglio è un composto di vari elementi diversi tra loro, del tipo: la miscela è un miscuglio di benzina e olio. Per me è un non miscuglio **qualcosa di semplice e naturale.** (Daniel)

iv) Secondo me, un miscuglio è una sostanza liquida secondaria formata da liquidi primari, ad esempio la miscela che è formata da benzina super e olio. Non è un miscuglio ciò che è un liquido primario come l'acqua. (Enrico)

v) Un miscuglio sono tante sostanze mischiate tra di loro. Un non miscuglio è una sostanza che non viene mischiata con altre sostanze. (Mario)

vi) Un miscuglio per me è l'unione di varie sostanze, come formare sostanze come insetticidi, pesticidi, o vedere la reazione dell'azoto a contatto con l'anidride carbonica. Per me si può definire un non miscuglio, una sostanza, una forza proveniente dalla natura, **una cosa naturale,** senza uso degli scienziati. (Danilo)

vii) Non so se la parola miscuglio abbia un termine specifico ma penso che siano degli elementi, dei composti, delle cose mischiate tra loro. Un non miscuglio sono delle sostanze, delle **materie prime** che rimangono come sono, non subiscono miscugli con altre sostanze. (Luca)

viii) Non è un miscuglio **ciò che l'uomo non ha osato elaborare** come ad esempio **la natura** in parte. [...] Riconosco un miscuglio da un non miscuglio facendo riferimento alla natu-

* Istituto Statale di Istruzione Superiore "F. Brunelleschi" - Tecnico per Geometri e Nautico - Oristano. g.sciolla@tiscali.it

** Istituto Tecnico per Geometri. "P.L. Nervi" Cagliari, sede staccata di Selargius (CA) fisaia@tiscali.it

ra capendo se una cosa è stata lasciata all'origine della sua esistenza o se ha subito cambiamenti lievi o radicali. (Fabio)

ix) Un miscuglio può essere molte cose, ma in generale un insieme, una massa di cose: come oggetti, persone, ecc. Inoltre il miscuglio può essere un'unione di materie, per esempio, facendo un semplice paragone: il frullato è sempre un miscuglio di cose, in questo caso di frutta. Un miscuglio non può essere considerato tale quando le cose vengono prese in esame singolarmente. Un "non miscuglio" può essere tutto basta che sia solo, unico; quindi il "non miscuglio" è una cosa separata dalle altre. Un miscuglio si può riconoscere da un non miscuglio quando le cose sono prese d'esame singolarmente. Quindi si possono distinguere osservando come sono messe le cose. Per esempio un frullato si distingue da una frutta sola, perché un frullato è un insieme di cose, mentre la frutta è una cosa singola. (Valentino)

x) Un miscuglio secondo me significa la miscelazione di sostanze liquide o solide. Per esempio, si potrebbe chiamare miscuglio la miscelazione di acqua e menta o qualsiasi altro liquido, però si potrebbe chiamare anche una miscelazione di sostanze gassose, tipo gas, metano e lo iodio. [...] Non è un miscuglio una sostanza come l'acqua perché quest'ultima è sempre stata originalmente così, in effetti, può darsi che mi sbagli, non ho mai sentito dire che l'acqua è una miscelazione tra due o più cose, certo è che se l'acqua è inquinata non si può dire che non è un miscuglio, però non solo l'acqua non è un miscuglio ma anche tantissime altre sostanze liquide o solide che siano. (Serenella)

xi) Per me un miscuglio è un insieme di sostanze cioè l'assemblaggio di due o più prodotti, come ad esempio lo è la benzina perché in realtà il suo prodotto primo è il petrolio con altri prodotti viene fuori la benzina. [...] Non miscugli sono dei prodotti singoli non mescolati tra di loro come ad esempio (non ne sono sicuro) l'oro e l'argento. (Paolo)

xii) Per me un miscuglio è mischiare una sostanza con un'altra come per esempio mettere dell'acqua e aggiungervi dello zucchero e così non sarebbe più acqua ma un miscuglio. Non è un miscuglio la sostanza che rimane invariata e cioè che non le viene aggiunto nessun componente come può essere l'olio al suo stato puro. (Mara)

xiii) Un miscuglio è un insieme di materie che vengono "mischiate" per far sì che nasca una cosa unica. Non è un miscuglio una **materia prima**, cioè che non è creata da un insieme di materie prime, unica. Riconosco un non miscuglio se fatto solo da una sola materia, è un miscuglio se fatto da un insieme di materie sempre prime o miste! (Federica)

b) Miscuglio viene solitamente inteso come miscuglio omogeneo (le parti si mescolano per formare un miscuglio). In qualche caso più raro, miscuglio è inteso come miscuglio eterogeneo (è un miscuglio perché si vedono materiali diversi mescolati). Quasi mai con miscuglio si comprendono sia i miscugli omogenei sia quelli eterogenei.

i) Per me un miscuglio si distingue da un non miscuglio perché un miscuglio secondo me è una cosa liquida, mentre il non miscuglio è un composto solido, che si può toccare senza paure che ti si sgretoli in mano. (Fabiana)

ii) Per me un miscuglio è un unimento di due cose, ad esempio il ferro con il rame, l'oro con il bronzo, il piombo con l'argento, ecc... Tutte queste cose allo stato liquido. Ci sono anche dei non miscugli, essi sono delle cose che

se le unisci non formano niente, ad esempio, delle calamite con dei pezzetti di ferro, dei pezzetti di ferro con dei pezzetti di rame, ecc. [...] Come ho detto nelle risposte precedenti, i miscugli e i non miscugli sono cose diverse; per esempio, un miscuglio è allo stato liquido, come del ferro sciolto e del piombo sciolto; un non miscuglio è allo stato solido, come il ferro e il legno. (Mauro)

iii) Secondo me, un miscuglio è una sostanza liquida secondaria formata da liquidi primari, ad esempio la miscela che è formata da benzina super e olio. (Enrico)

iv) Per me un miscuglio può essere una combinazione fra due sostanze o liquidi, come ad esempio l'acqua con lo zucchero, oppure la benzina con olio, ecc., insomma mi fa pensare a due liquidi o più che messi insieme formano una cosa sola. Un non miscuglio è un insieme di due o più cose solide messe insieme. (Gabriele)

v) Un miscuglio è l'insieme di due elementi liquidi che versati l'uno nell'altro si mischiano, per esempio l'acqua col vino. Non è un miscuglio, quando due elementi liquidi non si mischiano fra loro. (Manuel)

vi) Un miscuglio per me è l'unirsi di più ingredienti liquidi per ricavarne uno unico. Non è un miscuglio ciò che si trova ordinatamente in delle boccette. (Gianluca)

vii) Un miscuglio è un insieme di piccole cose mischiate tra di loro ad esempio un gruppetto di sabbia e uno di lamine di ferro. Non è un miscuglio quando le cose non si possono mischiare tra di loro come ad esempio un po' di zucchero e lo mettiamo dentro l'acqua vedremo che si scioglie. Riconosco un miscuglio da un non miscuglio dal fatto che si possono mischiare tra loro, però ad esempio il sale non è un miscuglio perché se si mette nell'acqua esso si scioglie mentre invece se mettiamo in un bicchiere d'acqua un po' di sabbia esso non si scioglie questo significa che un miscuglio è quando non si scioglie mentre invece è un non miscuglio quando si scioglie. (Ivan)

viii) Un miscuglio sono tante sostanze diverse dentro un solo contenitore dove ci sono sostanze leggere che galleggiano e altre che invece vanno sul fondo. Per esempio un miscuglio può essere acqua, olio, terra e succo d'arancia dentro un solo bicchiere. È un non miscuglio delle cose che sono pure come l'acqua naturale che non ha nessuna altra sostanza dentro. Un non miscuglio può essere anche l'olio d'oliva. (Eleonora)

ix) Un miscuglio per me è quando per esempio si uniscono l'olio con l'acqua che l'olio va in superficie e l'acqua va in fondo e se li agiti si miscelano e non si riconosce né l'acqua né l'olio. Non è un miscuglio ciò che non è stato mischiato con nessun altro composto o per meglio dire prodotto. (Luca)

c) Per la maggior parte degli alunni, la distinzione tra miscugli e non miscugli coincide con quella tra sistemi omogenei (miscugli perché *ben mischiati*) e sistemi eterogenei (non miscugli perché *non ben mescolati*).

i) Un non miscuglio è composto da due sostanze che a contatto non si mischiano tra loro a formarne una sola, come l'acqua e il petrolio. (Luca)

ii) Per me è un non miscuglio due sostanze che, anche se mescolate assieme, non si fondono in una sola. (Gianluca)

iii) Secondo me è un vero miscuglio la soluzione tra due o più sostanze diverse che incrociandosi ne formano una nuova che avrà come caratteristiche alcuni aspetti di una sostanza e alcuni di un'altra. Un tipico esempio di miscu-

glio è l'acqua e il vino, queste due sostanze appunto ne formeranno un'altra diversa per colore, per gusto. Non è un vero miscuglio quando le due sostanze pur mescolate non riescono a incrociarsi e, pur trovandosi insieme, sono distinte e quindi si notano bene le caratteristiche sia di una che delle altre. Un tipico esempio di non miscuglio sono l'acqua e l'olio che messe in un bicchiere, rimangono una a galla e un'altra sotto. (Tomaso).

iv) Un miscuglio vuol dire mettere in un recipiente, o in una bottiglia, comunque in un contenitore varie sostanze e mischiarle per vedere il risultato ottenuto. Ad esempio si può mischiare l'acqua con il sale, o il latte con il caffè si ottengono sempre dei miscugli. Non è un miscuglio, qualcosa che, anche se qualcuno lo agita o mescola non si mischia, cioè le due sostanze rimangono separate. Può essere un esempio di non miscuglio l'acqua con l'olio che, anche agitandoli, rimangono mischiati per un po' ma poi si riseparano e ritornano come all'inizio. Si può riconoscere un miscuglio da un non miscuglio perché sono due cose diverse: un miscuglio c'è quando due o più sostanze vengono mischiate e diventano un'unica sostanza, un non miscuglio è quando due sostanze che vengono mischiate rimangono separate e non diventano un'unica sostanza, liquido. (Sabrina)

v) Un miscuglio è una qualsiasi mescolanza tra due sostanze per fare un semplice esempio: acqua e zucchero, infatti lo zucchero è solubile nell'acqua e quindi forma una sola sostanza. Non è un miscuglio una qualsiasi cosa in cui che non si può mescolare con altre sostanze come per esempio: acqua e olio infatti l'olio galleggia nell'acqua. Mentre un **non** miscuglio è possibile riconoscerlo ad occhio nudo come l'acqua e l'olio; il miscuglio è difficile da riconoscere a occhio nudo infatti nel caso dell'acqua zuccherata bisognerebbe assaggiarla per capire che è formata da acqua e zucchero, in altri casi c'è bisogno di altri strumenti. (Marcello)

d) Qualche studente associa un miscuglio al disordine e un non miscuglio all'ordine. Questa identificazione consente il riconoscimento dei miscugli dai non miscugli. Qualcuno riconduce la distinzione alla reversibilità (miscuglio) o non reversibilità (non miscuglio) del processo di mescolamento.

i) Il miscuglio potrebbe essere qualcosa che viene inserita a tante altre, però mi potrebbe dare anche un'immagine di caos, o meglio di disordine. Il non miscuglio potrebbe essere una cosa singola o meglio ancora una cosa che rimane chiusa a se stessa e che potrebbe dare l'immagine di ordinato. (Federico)

ii) Secondo me un miscuglio è qualcosa che si è provato a fare con un modo sbagliato, come ad esempio fare qualche cosa come una medicina, mischiare qualche sostanza e un'altra e sbagliare tutto il procedimento, o almeno qualcosa del genere; mentre invece il non miscuglio è fare la stessa cosa, però in modo corretto. Comunque non penso (almeno per adesso) di poter riconoscere un miscuglio da un non miscuglio. (Mattia)

iii) Un miscuglio è un insieme di cose diverse poste tutte insieme. Ad esempio: la carne con le pesche, con la pasta, l'insalata, ecc. metterla tutta insieme questo per me è un miscuglio. Non è un miscuglio quando ogni cosa viene messa in ordine assieme ad altre cose che le assomigliano. Ad esempio: le magliette con le magliette, i pantaloni con i pantaloni, le giacche con le giacche, ecc...È facile

riconoscere un miscuglio perché è disordinato e orribile da vedere, l'altro invece è bello e ordinato da vedere e pulito. (Marco)

iv) Per me può essere un miscuglio del pecorino sardo in una torta, oppure, un bicchiere di vino in uno di coca-cola! Nella chimica invece è un oggetto che è fatto di altre materie. Un non miscuglio per me può essere qualcosa creato da solo, cioè che non ha bisogno di altre sostanze per essere completato. (Cinzia)

v) Secondo me un miscuglio è una sostanza formata da tante altre sostanze che messe insieme formano un miscuglio. Queste sostanze che si formano possono tornare come erano prima. Non è un miscuglio una sostanza formata da altre, che non possono tornare al punto di partenza. (Marco)

e) Concetto implicito di sostanza. Le sostanze sono viste generalmente come materiali naturali, su cui l'uomo non ha operato alcuna trasformazione, nel senso di "manipolazione", o contaminazione. La trasformazione, come si è visto, viene interpretata dalla maggior parte degli alunni, come "ottenimento di miscugli".

(Si vedano al riguardo le risposte a) i; a) ii; a) iii; a) vi; a) viii; a) xiii)

Dalla discussione con gli alunni e dalle attività di laboratorio è emerso inoltre che:

f) La maggior parte degli alunni conosce il modo corretto di separare l'acqua torbida (filtrazione) e l'acqua salata (evaporazione del solvente, distillazione), ma non è in grado di classificare i metodi in meccanici e fisici e di utilizzarli per distinguere i miscugli dai non miscugli.

3. Proposta

Le conoscenze iniziali degli alunni evidenziano due possibili cause delle difficoltà incontrate nella comprensione delle definizioni operative di miscugli e sostanze. La prima causa è che essi non *vedono* nei materiali naturali sistemi da separare, ma entità di partenza da cui si possono ottenere dei miscugli. Essi considerano, cioè, le manipolazioni e le lavorazioni dei materiali naturali come operazioni di mescolamento e non di separazione. La seconda causa è che gli alunni hanno una conoscenza non sistematica delle tecniche di separazione e non sono in grado di apprezzare la loro classificazione in metodi meccanici e metodi fisici. Si è cercato di superare queste difficoltà sperimentando un percorso che parta da ciò che per gli alunni è più familiare e comprensibile -la preparazione di miscugli-, che introduca i metodi di separazione come processi inversi a quelli di mescolamento e che arrivi, infine, in modo contestuale sia alla classificazione dei metodi di separazione sia alle definizioni operative di miscugli e sostanze. La definizione del concetto fondamentale diventa così punto di arrivo e non di partenza.

Il percorso predisposto prevede:

> La preparazione dei miscugli

Gli alunni, suddivisi in gruppi di 2-3 componenti devono preparare, in laboratorio o a casa, 6 campioni ottenuti agguagliando acqua a zucchero, sale, caffè in polvere, vino, terra, olio e quindi trovare il termine, per loro più appropriato, per indicare ciò che hanno ottenuto nelle singole prove. La necessità di dover utilizzare un termine unico porta gli studenti a proporre il termine **miscuglio**, superando le difficoltà emerse al riguardo nel punto 2 c). La riflessione sul fatto che l'acqua torbida (ottenuta nella

attività proposta) si forma anche in natura in occasione, ad esempio, di temporali, consente di superare agevolmente anche la concezione che i miscugli siano dovuti alla esclusiva azione dell'uomo (punto 2a).

> La definizione dei miscugli

In un momento successivo gli alunni devono stabilire se sia possibile classificare i precedenti campioni in due gruppi in base alla caratteristica ritenuta, da loro, più rilevante. Generalmente la maggior parte degli alunni sceglie di effettuare la classificazione considerando la possibilità o meno di distinguere i materiali di partenza.

Con l'aiuto dell'insegnante si arriva a concettualizzare questa attività con la formulazione delle seguenti tre definizioni:

Un miscuglio è ciò che si può ottenere mescolando due o più "materiali".

Un miscuglio eterogeneo è un miscuglio in cui è possibile riconoscere, almeno in parte, i materiali di partenza.

Un miscuglio omogeneo è un miscuglio in cui non è più possibile distinguere i materiali di partenza.

> L'identificazione dei miscugli

Come si può riconoscere se un dato campione è un miscuglio?

In base alle attività e alle riflessioni svolte nei punti precedenti, che hanno portato alla definizione di miscuglio come risultato del mescolamento, è possibile identificare un miscuglio solo se si è assistito alla preparazione del campione poiché è possibile il confronto tra una situazione iniziale, in cui i materiali sono separati, e quella finale in cui essi sono "mescolati". Invece, non è possibile dall'osservazione del solo campione finale stabilire se esso sia un miscuglio a meno che non si riesca a trovare il modo di "ricreare" la "situazione di partenza". Con questo tipo di ragionamento si è in grado di introdurre il concetto che miscuglio è "qualcosa" che si può separare in due o più materiali, eseguendo un procedimento opposto a quello di mescolamento.

Si può, allora, concordare con gli alunni una seconda definizione di miscuglio:

È un miscuglio ciò che è possibile separare in due o più materiali.

Questa definizione porta gli alunni a *vedere* in modo diverso il mondo che li circonda e ad individuarvi un numero molto maggiore di miscugli. Ad esempio, un paio di forbici con i manici di plastica difficilmente viene visto come miscuglio inteso come mescolamento di più materiali, ma viene riconosciuto come tale in quanto separabile in due o più materiali (acciaio e plastica).

> La separazione dei miscugli

In che modo è possibile separare i miscugli ottenuti?

La risposta è abbastanza immediata per i miscugli eterogenei nei quali sono ancora distinguibili i materiali di partenza. La loro separazione risulta relativamente semplice applicando metodi di separazione noti agli alunni come la filtrazione, separazione manuale, separazione magnetica e così via.

Più complessa è la risposta per i miscugli omogenei, con i quali risultano inefficaci i metodi utilizzati per separare i miscugli eterogenei. Per esempio, filtrando un campione di acqua salata gli alunni possono verificare di persona che non si ha alcuna separazione, fatto per niente scontato per una percentuale significativa di essi.

Esiste un modo per separare i miscugli omogenei?

Poiché la maggior parte degli alunni sa che dall'acqua di mare si può separare il sale (punto 2f) si propone un'ulteriore osservazione in laboratorio. Tre campioni di aspetto identico costituiti rispettivamente da acqua salata, acqua del rubinetto e acqua distillata, vengono riscaldati su una piastra elettrica. L'evaporazione dell'acqua mette in risalto la differenza dei tre campioni, infatti, nel primo caso si ottiene un residuo incoerente di sale marino, nel secondo un residuo nettamente inferiore di sostanze incrostanti e nel terzo non si ottiene alcun residuo. Il procedimento utilizzato consente di riconoscere come miscugli due dei tre campioni utilizzati ma non di recuperare tutti i componenti. A questo punto, quindi, può essere introdotta la separazione mediante distillazione.

> L'identificazione dei "non-miscugli"

Si è visto in precedenza che l'acqua distillata non contiene disciolti materiali solidi perché evapora senza lasciare residuo. Sottoposta a distillazione si ottiene un "materiale" con caratteristiche identiche a quelle del campione di partenza: si tratta evidentemente di un "non-miscuglio". I non-miscugli come l'acqua distillata sono chiamate sostanze. A questo punto l'argomento può essere ripreso in modo più rigoroso introducendo il concetto di sistema, la classificazione dei metodi di separazione e la definizione operativa di sistema eterogeneo, sistema omogeneo e sostanza.

4. Conclusioni

Le difficoltà di apprendimento dei concetti di miscuglio e sostanza, nella nostra esperienza didattica, sono state, almeno in parte, riconducibili alla impostazione formale ed astratta che considera "le definizioni" come punto di partenza e non di arrivo dei percorsi didattici, come già evidenziato per altri concetti chiave della chimica [3][4]. Questa impostazione, strettamente legata alla forma che il libro imprime all'organizzazione e ai metodi di trasmissione dei saperi, entra, infatti, in conflitto con il modo di conoscere dei giovani, abituati a partire dall'immersione piuttosto che dall'astrazione [5].

Più in sintonia con il modo di apprendere degli alunni è un approccio di tipo *costruttivista*, che rivaluti le conoscenze informali provenienti dall'esperienza quotidiana e faciliti la loro elaborazione e trasformazione in una direzione più formale, propria della conoscenza scientifica. In questa prospettiva il laboratorio didattico può essere ripensato come un ambiente finalizzato al passaggio progressivo da osservazioni/manipolazioni caratteristiche della vita di ogni giorno ad attività focalizzate sugli aspetti quantitativi e misurabili, tipiche dell'approccio scientifico.[6]

Note Bibliografiche

- [1] P. Cancellieri, E. Torracca, A. Turchi, *Didattica delle Scienze*, 1984, **113**, 6
- [2] P. Mirone, *Cns - La Chimica nella Scuola*, 1997, **19**, 20
- [3] G. Sciolla, M. Spezziga, *Cns - La Chimica nella Scuola*, 2000, **22**, 17
- [4] C. Fiorentini, E. Roletto, *Cns - La Chimica nella Scuola*, 2000, **22**, 158
- [5] R. Maragliano, *Nuovo manuale di didattica multimediale*, Laterza, Bari 2004, pp. 16-27
- [6] G. Sciolla, *Ritrovare la chimica dentro le cose* (http://comunicazione.uniroma3.it/manualemaragliano/percorsi/Ritrovare_la_chimica_dentro_le_cose.html) in *Percorsi Didattici* dell'estensione di rete di R. Maragliano, *Nuovo manuale di didattica multimediale*, Laterza, Bari 2004 (<http://comunicazione.uniroma3.it/manualemaragliano/>)

Il potenziale chimico: potenzialità didattiche di una grandezza poco conosciuta ma di grande attualità

MICHELE D'ANNA,
URS KOCHER,
PAOLO LUBINI,
SILVANO SCIARINI*

Riassunto

L'esplicito utilizzo del concetto di potenziale chimico (μ) permette di descrivere in maniera più coerente, sistemica e sistematica i fenomeni che coinvolgono trasformazioni di sostanze senza dover ricorrere esplicitamente ai concetti di energia e di entropia. Esso offre inoltre la possibilità di cogliere parecchie analogie a livello strutturale con altri campi delle scienze naturali quali l'idraulica, la termologia, l'elettricità in termini di spinte, correnti e resistenze.

Abstract

The explicit use of the concept of chemical potential allows to describe the phenomena related to the transformations of substances at a first and phenomenological level, as well as in a coherent, systemic, and systematic way without the need of the concepts of energy and entropy. Additionally, such an approach offers the opportunity to exploit the analogies with other branches of the natural sciences, such as hydraulics, thermodynamics, or electricity, in terms of driving forces, currents, and resistances.

Uno degli obiettivi principali dell'insegnamento delle scienze naturali dovrebbe essere quello di dotare gli studenti, e quindi i futuri cittadini, di strumenti che permettano loro di guardare con consapevolezza e spirito critico al mondo naturale cui intimamente appartengono.

Di fronte allo sterminato pluralismo dei fenomeni naturali l'uomo ha da sempre cercato di trovare una spiegazione coerente da condividere socialmente e, a tale scopo, ha proposto teorie di vario genere che hanno avuto più o meno fortuna e che si sono evolute negli anni, non sempre in modo indolore, grazie ad una continua dialettica tra mondo empirico, mondo sociale e mondo formale.

Se pensiamo alla Chimica, questa necessità di trovare degli organizzatori cognitivi [1] [2] a fronte di una mole non indifferente di dati sperimentali, risulta essere particolarmente sentita [3] e ha trovato parziale coronamento e sintesi nella formulazione della teoria particellare della materia e, nella seconda metà del XIX° secolo, nella proposta del sistema periodico degli elementi. Questi due

risultati, che permettono una descrizione estremamente coerente della materia a livello di composizione e di struttura [4], hanno ormai trovato diritto di cittadinanza in tutti i corsi di Chimica, e nessuno, allo stato attuale delle conoscenze, osa metterli in discussione. La Chimica, infatti, è spesso associata alle formule chimiche e ai simboli degli elementi: *chi non conosce la famosa formula della sostanza che al mondo trovasi più in abbondanza*¹, o non ha mai sentito parlare di Mendeleev e del suo sistema periodico?

Vi sono però, almeno stando ai manuali scolastici attualmente in uso, altri aspetti relativi alla varietà dei fenomeni chimici che faticano a trovare una loro descrizione coerente, facilmente accessibile e convincente. Se consideriamo, ad esempio, un legno che brucia, del ghiaccio che fonde, una ringhiera che arrugginisce o del profumo che diffonde in un locale e cerchiamo, sempre nei libri di testo, un singolo modello che permetta di render conto dei motivi del verificarsi di questi fenomeni, nella quasi totalità dei casi ci imbattemmo nel secondo principio della termodinamica, nei concetti di energia (spesso semplicisticamente definita come "capacità di compiere lavoro") e di entropia (quasi sempre associata ad un non meglio definito "disordine molecolare"). Molto diffuse sono anche le trattazioni incentrate sull'energia libera G e sulla relazione $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$: in tale contesto si afferma che una trasformazione è spontanea quando l'energia libera del sistema diminuisce (ΔG è cioè negativo) [5]. In sostanza la spiegazione del perché accade ciò che accade è condensata nell'affermazione che ogni trasformazione spontanea implica un aumento dell'entropia dell'universo [6] [7].

Di seguito vorremmo mostrare come, utilizzando il concetto di potenziale chimico, sia possibile dotarsi di uno strumento in grado di render conto del perché alcuni fenomeni chimici accadono ed altri no, senza dover necessariamente ricorrere ai concetti di energia e di entropia [8] [9] [10] [11] [12].

Il potenziale chimico

Il concetto di potenziale chimico μ_i , per una sostanza pura, introdotto da W. Gibbs alla fine del XIX° secolo, è generalmente presentato nei libri di termodinamica [13] [14] [15] [16] come la derivata parziale dell'energia libera (G) rispetto alla quantità di sostanza a pressione e temperatura costanti e come tale ha la dimensione di $J mol^{-1}$:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{p, T, n_j}$$

È soprattutto a tale definizione, benché sicuramente rigorosa da un punto di vista formale, che il concetto di potenziale chimico deve la sua fama di grandezza difficile,

12 *Alta Scuola Pedagogica, Piazza San Francesco 19, CH-6600 Locarno

michele.danna@aspti.ch; paolo.lubini@aspti.ch;
urs.kocher@aspti.ch; silvano.sciarini@aspti.ch;

¹ Si veda il simpatico testo di Achille Cavaliere, *Chimica in versi, in rime distillate per chi a scuola fra atomi e elementi studiò la chimica con piante e con lamenti*, Mursia, Milano 1989 (prima edizione 1926).

misteriosa e improponibile in un corso di chimica per principianti. Come sarà illustrato di seguito, è tuttavia possibile utilizzare il concetto di potenziale chimico senza dover conoscere nel dettaglio le argomentazioni termodinamiche che hanno portato alla sua definizione. D'altra parte la quasi totalità delle persone è in grado di utilizzare un calcolatore elettronico, un televisore o un telefonino pur essendo completamente ignara dei principi elettrotecnici che ne permettono il funzionamento. Si noti inoltre come a nessun insegnante passerebbe per la testa, in un corso introduttivo, di proporre e utilizzare, ad esempio, il concetto di temperatura quale derivata parziale dell'energia interna (U) rispetto all'entropia a volume e quantità di sostanza costanti:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V,n}$$

Benché tale definizione sia ineccepibile da un punto di vista formale, essa non permette di cogliere gli aspetti fenomenologici più immediati, operativi e direttamente accessibili del concetto di temperatura. Di fatto, però, la temperatura è considerata una grandezza fondamentale e irrinunciabile per una descrizione coerente dei fenomeni termici e come tale è introdotta sin dall'inizio.

Potenziale chimico e spinta per una trasformazione

Così come una differenza di temperatura è considerata la spinta che fa fluire calore (entropia) tra due corpi, oppure così come una differenza di potenziale elettrico può essere considerata come la spinta che fa scorrere una corrente elettrica in un circuito, allo stesso modo, per analogia, una differenza di potenziale chimico può essere considerata come la spinta per un cambiamento chimico-fisico. Detto in altri termini, per stabilire se il passaggio di un determinato sistema da una situazione A ad una situazione B avvenga o meno in modo spontaneo², basta confrontare il potenziale chimico della situazione iniziale con quello della situazione finale: se il potenziale chimico μ diminuisce, allora la trasformazione sarà possibile, se μ rimane uguale, si

avrà una situazione di equilibrio chimico, mentre se μ aumenta, la trasformazione, così come descritta, non potrà avvenire spontaneamente (figura 1). In quest'ultimo caso, per permettere alla trasformazione di avvenire sarà necessario ricorrere ad un intervento esterno: a qualche cosa che potremmo chiamare una "pompa chimica"³.

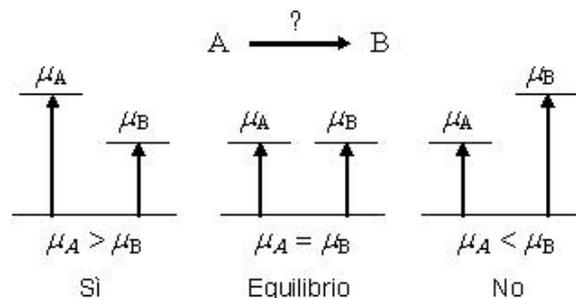


Figura 1. Per stabilire se una trasformazione da A a B possa o meno avvenire spontaneamente basta confrontare i rispettivi potenziali chimici. Nel caso in cui le situazioni A e B sono caratterizzate dal medesimo valore del potenziale chimico si ha uno stato di equilibrio chimico.

L'applicazione di questo semplice criterio permette di rispondere assai velocemente a domande del tipo: determinate sostanze reagiranno chimicamente tra di loro? Quale stato di aggregazione assumerà una data sostanza in determinate condizioni di temperatura e pressione? Che tendenza avrà una certa sostanza a diffondere in certo ambiente? L'idea di una spinta (intesa come differenza di potenziale) quale "motore" per un cambiamento è un potente strumento di analisi⁴ per la razionalizzazione dei fenomeni naturali⁵: in elettricità abbiamo infatti una differenza di potenziale elettrico quale spinta per una corrente elettrica, in termologia abbiamo una differenza di potenziale termico (differenza di temperatura) quale spinta per una corrente di calore (entropia), in idraulica abbiamo una differenza di pressione quale spinta per una corrente di un volume di acqua. Queste analogie sono evidenziate nella tabella 1.

Tabella 1 - Uno sguardo d'assieme: per ciascun ambito vengono indicate di volta in volta le spinte (differenze tra potenziali) e le rispettive correnti. Il termine I_x rappresenta l'intensità del flusso che descrive lo scambio della rispettiva grandezza estensiva (carica elettrica, entropia, volume d'acqua) tra l'interno del sistema considerato e l'ambiente circostante. Per il concetto di corrente chimica, si veda il testo.

Spinta			Corrente	
Chimica	Differenza di potenziale chimico	$\Delta\mu_{\text{Reazione}}$	Corrente chimica	$I_{n(\text{Reazione})}$
Elettricità	Differenza di potenziale elettrico	$\Delta\phi$	Corrente elettrica	I_Q
Termologia	Differenza di potenziale termico	ΔT	Corrente di entropia	I_S
Idraulica	Differenza di pressione	ΔP	Corrente d'acqua	I_V

² Questo criterio, in realtà, è valido unicamente quando la trasformazione avviene per via "puramente chimica", ossia senza interventi di altri tipi di spinta. In questi casi per determinare la direzione della trasformazione sarà necessario tenere in considerazione l'insieme delle varie spinte coinvolte.

³ Si pensi ad esempio ai processi di elettrolisi oppure, nei sistemi biologici, a quelli relativi all'anabolismo e alla fotosintesi. La descrizione di queste "pompe di reazione" sarà oggetto di una prossima pubblicazione. Sempre per analogia, si noti che per far fluire del calore da un corpo freddo ad uno caldo si utilizza una "pompa di calore", così come per far fluire dell'acqua da una zona a bassa pressione ad una ad alta pressione abbiamo bisogno di una "pompa d'acqua".

³ Un altro potente strumento di analisi è quello della ricerca degli invarianti, cioè di ciò che non cambia in una trasformazione (gli elementi sono, ad esempio, gli invarianti delle reazioni chimiche). Si noti anche che il concetto di invariante è alla base di numerose classificazioni.

⁴ Molto spesso il ruolo di "motore" per un cambiamento è attribuito all'energia. L'energia tuttavia entra in gioco solo quale principio regolatore: la sua proprietà di essere una grandezza estensiva e conservata, cioè di essere un invariante, fissa i limiti per le variazioni delle altre grandezze estensive. A fungere da spinta per le correnti di energia e le altre grandezze estensive coinvolte sono invece le varie differenze di potenziale (termico, chimico, elettrico o idraulico, ad esempio).

Qualche parola di commento merita il concetto di corrente chimica ($I_{n(\text{Reazione})}$): per illustrarne il significato consideriamo un esempio semplificato, ossia quello di una reazione che avviene a regime stazionario. In questa situazione la relazione di bilancio completa che lega per le varie sostanze le variazioni temporali ($\frac{dn_i}{dt}$) delle quantità n_i , l'intensità ($I_{n(i)}$) degli scambi con l'ambiente circostante e il tasso di produzione/distruzione ($\pi_{n(i)}$) si riduce alla formula $I_{n(i)} + \pi_{n(i)} = 0$ ⁶. Ciò permette di riconoscere che in questa situazione il tasso di trasformazione chimica della reazione può essere determinato direttamente misurando le correnti chimiche delle rispettive sostanze in entrata ed in uscita dal "reattore chimico". Nelle figura 2 viene riportata una descrizione schematica di un tale reattore nel caso di un'ipotetica reazione.

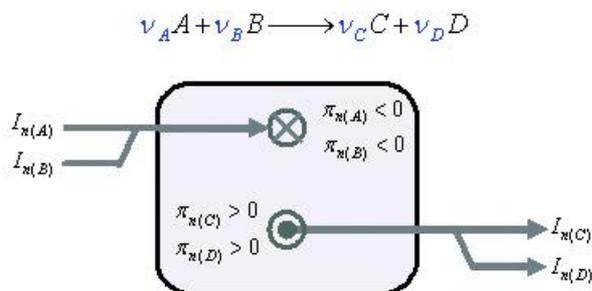


Figura 2. Schema di una reazione chimica a regime stazionario. I reagenti vengono continuamente introdotti nel reattore ove scompaiono nel corso della reazione chimica, mentre i prodotti della reazione ne vengono allontanati [17].

I tassi di produzione ($\pi_{n(i)} > 0$) e di distruzione ($\pi_{n(i)} < 0$) delle varie sostanze coinvolte sono rigorosamente accoppiati tra loro dai rispettivi coefficienti stechiometrici (v_i) che compaiono nell'equazione chimica bilanciata. Ciò permette di descrivere con un'unica grandezza il grado di avanzamento di una reazione chimica all'interno del reattore. Tale grandezza viene generalmente chiamata *grado di avanzamento della reazione* ξ [18] ed è espressa in moli⁷; essa permette di definire l'intensità della corrente chimica di reazione $I_{n(\text{Reazione})}$ (in seguito indicata semplicemente come corrente chimica) attraverso la relazione:

$$I_{n(\text{Reazione})} = \frac{d\xi}{dt} = \frac{|I_{n(A)}|}{|v_A|} = \frac{|I_{n(B)}|}{|v_B|} = \frac{|I_{n(C)}|}{|v_C|} = \frac{|I_{n(D)}|}{|v_D|}$$

La corrente chimica di reazione $I_{n(\text{Reazione})}$ (rispettivamente, nell'esempio scelto, il tasso di trasformazione della reazione chimica) corrisponde così alla variazione di ξ in funzione del tempo (Figura 3).

I valori del potenziale chimico per le sostanze semplici

Così come la temperatura di ebollizione, la densità, la capacità termica, la massa molare e molte altre proprietà delle varie sostanze possono essere determinate sperimentalmente e sono raccolte in apposite tabelle, allo stesso modo anche i valori del potenziale chimico delle varie sostanze sono stati misurati e tabulati. Per avvicinarci al concetto di potenziale chimico⁸, consideriamo i valori relativi ad alcune sostanze semplici riportati nella tabella 2⁹.

Poiché durante le trasformazioni chimiche, che avvengono in condizioni abituali, il numero degli atomi dei singoli elementi viene conservato, per la determinazione dei potenziali chimici si dispone di tanti gradi di libertà quanti

sono gli elementi chimici¹⁰. Così, per convenzione, si è deciso di assegnare il valore di 0 kJ mol⁻¹ alla sostanza semplice del rispettivo elemento nella forma allotropica più stabile alla temperatura di 298 K e alla pressione di 101 kPa. Il grado di libertà messo a disposizione dall'elemento Carbonio¹¹, ad esempio, viene utilizzato assegnando il valore del potenziale chimico di 0 kJ mol⁻¹ alla grafite. Il diamante, un'altra forma allotropica del Carbonio, ha per

¹⁰ Generalmente infatti, per le grandezze *non conservate*, il potenziale associato ha carattere *assoluto* (si veda ad esempio il caso termico in cui compare la temperatura assoluta). Di per sé anche la quantità di sostanza, n , non è una grandezza conservata e quindi sarebbe lecito aspettarsi che i valori di μ debbano riferirsi ad uno specifico zero assoluto. Tuttavia è proprio l'invarianza degli elementi e del numero dei rispettivi atomi durante le trasformazioni chimiche che permette l'adozione arbitraria di uno zero di riferimento per ciascun elemento.

¹¹ Purtroppo il linguaggio dei chimici in questo contesto è assai carente ed ambiguo: l'elemento e la rispettiva sostanza semplice vengono quasi sempre designati con lo stesso nome (si pensi ad esempio alle tavole periodiche ove le proprietà dell'elemento sono elencate, senza alcuna distinzione, assieme a quelle riferite alla rispettiva sostanza semplice nello stato allotropico più stabile nelle condizioni standard)! Questo fatto, da un punto di vista didattico, rappresenta un grosso problema poiché può ingenerare negli studenti non poche confusioni. È interessante notare come già nel 1898 Mendeleev aveva esplicitamente sollevato a più riprese la questione [24].

⁶ Una discussione più dettagliata dell'equazione di bilancio e del suo utilizzo nella descrizione dei fenomeni naturali sarà oggetto di una prossima pubblicazione.

⁷ La descrizione dei problemi stechiometrici per mezzo del grado di avanzamento della reazione ξ offre parecchi vantaggi nella trattazione di quesiti relativi al raggiungimento di equilibri chimici [19].

⁸ Nel presente articolo non affronteremo il tema riguardante le procedure per la determinazione sperimentale dei potenziali chimici. Il lettore interessato potrà in ogni caso ottenere indicazioni in merito negli articoli di G. Job citati nella bibliografia [21] [22].

⁹ Alcune tabelle dei potenziali chimici sono reperibili sul sito web della Job-Stiftung [23].

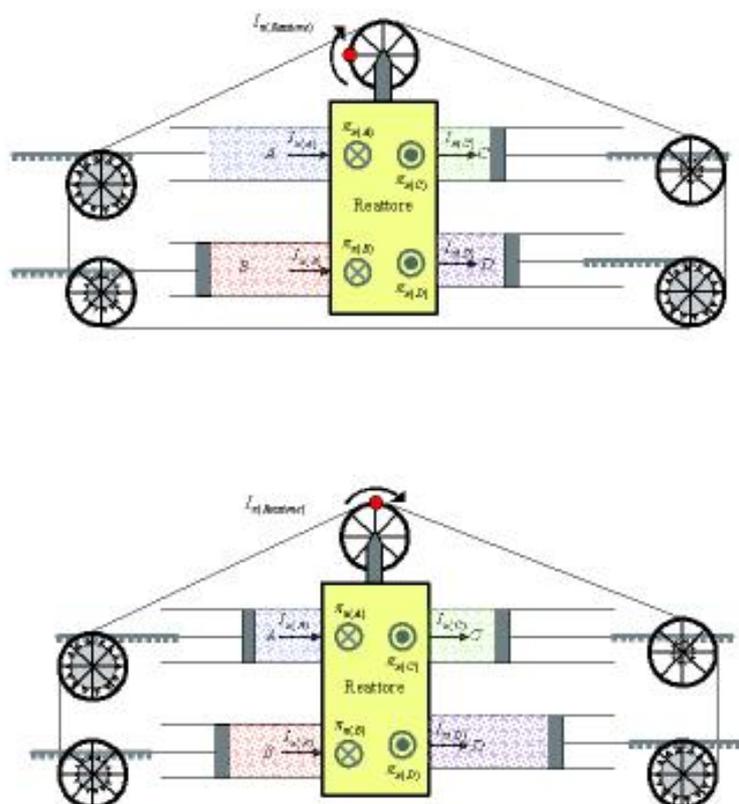


Figura 3. Analogia meccanica per illustrare il concetto di corrente chimica $I_{n(Reazione)}$ e l'intimo grado di accoppiamento, espresso dai coefficienti stechiometrici, tra i vari tassi di distruzione ($\pi_{n(A)}$, $\pi_{n(B)}$) e di produzione ($\pi_{n(C)}$, $\pi_{n(D)}$) delle sostanze coinvolte in una reazione chimica. Gli ingranaggi di diverso raggio corrispondono a differenti coefficienti stechiometrici [20]. I due disegni ritraggono due momenti successivi del grado di avanzamento della reazione.

Tabella 2 - Confronto tra i potenziali chimici di alcune sostanze semplici¹². I valori si riferiscono alle rispettive sostanze pure alla temperatura di 298 K e alla pressione di 101 kPa. I dati corrispondono ai valori dell'energia libera molare di formazione (ΔG_f^0) riportati nelle abituali tabelle termodinamiche.

Elemento	Sostanza semplice	Formula chimica	μ [kJ mol ⁻¹]
Carbonio	Diamante	C	+3
	Grafite	C	0
Iodio	Diiodio (solido)	I ₂	0
	Diiodio (liquido)	I ₂	+3
	Diiodio (gassoso)	I ₂	+19
Ossigeno	Ossigeno monoatomico	O	+232
	Diossigeno	O ₂	0
	Ozono	O ₃	+163

¹² Si noti che anche per i valori delle densità, delle temperature di ebollizione, ecc. i dati riportati nelle varie tabelle si riferiscono sempre a determinate condizioni sperimentali.

contro un potenziale chimico di $+3 \text{ kJ mol}^{-1}$: da ciò si può immediatamente dedurre che il diamante tenderà a trasformarsi spontaneamente in grafite. Osservazioni analoghe valgono anche per l'elemento Ossigeno: il potenziale di 0 kJ mol^{-1} viene assegnato alla sostanza semplice diossigeno (O_2) poiché risulta essere la più stabile nelle condizioni di temperatura e pressione considerate. Anche qui si noti come sia l'ossigeno monoatomico che l'ozono tendono, nelle condizioni di pressione e temperatura considerate, a trasformarsi in diossigeno. Interessante anche, a titolo esemplificativo, il caso dello Iodio: qui il potenziale chimico permette di stabilire in quale stato di aggregazione la sostanza semplice diiodio (I_2) si presenterà nelle condizioni di riferimento. In conclusione possiamo affermare che la modificazione con il potenziale chimico minore risulta essere la più stabile nelle condizioni di temperatura e pressione indicate.

I valori del potenziale chimico per le sostanze composte

Altre considerazioni di carattere generale possono essere ricavate considerando i potenziali chimici di alcune sostanze composte riportati nella tabella 3.

Tabella 3 - Potenziali chimici di alcune sostanze composte comuni. I valori si riferiscono alle rispettive sostanze pure, alla temperatura di 298 K e alla pressione di 101 kPa.

Sostanza composta	Formula chimica	μ [kJ mol^{-1}]
Carbonato di calcio	CaCO_3	-1128
Quarzo	SiO_2	-805
Sale	NaCl	-384
Saccarosio	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	-1544
Glucosio	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	-2743
Alcool	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	-175
Acqua	H_2O	-237
Diossido di carbonio	CO_2	-394
Acetilene	C_2H_2	+209
Azoturo di sodio	NaN_3	+91

La stragrande maggioranza delle sostanze composte ha un potenziale chimico negativo. Ciò significa che queste sostanze composte, nelle condizioni di temperatura e pressione indicate, non mostrano alcuna tendenza a decomporsi nelle rispettive sostanze semplici degli elementi che le compongono: acqua, sale, carbonato di calcio e quarzo, come ben si sa, possono essere tranquillamente conservati in un barattolo chiuso (figura 4).

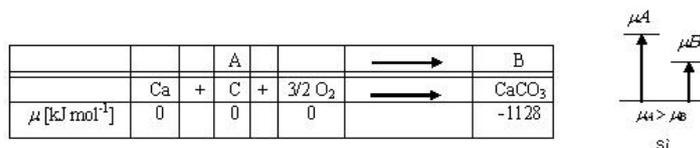


Figura 4. Un valore **negativo** del potenziale chimico indica che la sostanza composta può essere prodotta partendo dalle sostanze semplici degli elementi che la compongono, rispettivamente che la sostanza composta non mostra alcuna tendenza a scomporsi spontaneamente nelle sostanze semplici degli elementi che la compongono.

Altre sostanze composte, invece, denotano un potenziale chimico positivo. Ciò significa che queste sostanze composte tendono a decomporsi nelle sostanze semplici dei rispettivi elementi di cui esse sono costituite. A questa classe di sostanze composte appartiene ad esempio l'azoturo di sodio, sostanza che, tra l'altro, trova interessanti applicazioni tecniche nei dispositivi di air-bag [25] (figura 5).

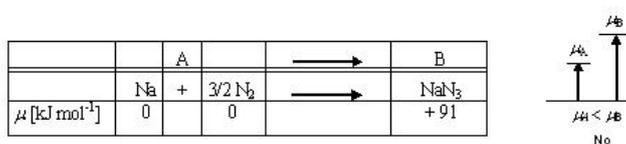


Figura 5. Un valore **positivo** del potenziale chimico indica che la sostanza composta può essere prodotta partendo dalle sostanze semplici degli elementi che la compongono senza un intervento esterno, rispettivamente che la sostanza composta mostra una tendenza a decomporsi nelle sostanze semplici degli elementi che la compongono.

Una descrizione delle trasformazioni chimiche incentrata sui concetti di corrente (intesa come tasso di trasformazione di sostanze), di spinta (dovuta ad una differenza di potenziale chimico) e di resistenza permette di cogliere a livello strutturale numerose analogie con altri campi di studio dei fenomeni naturali che nella trattazione classica possono sembrare, almeno agli occhi degli studenti, molto discosti gli uni dagli altri (figura 8).

$$\begin{array}{c}
 \text{Intensità di corrente} \longrightarrow I_{n(\text{Reazione})} = \frac{|\Delta\mu|}{R_{\text{chimica}}} \longleftarrow \begin{array}{l} \text{Spinta} \\ \text{Resistenza} \end{array} \\
 \\
 I_{\text{e}} = \frac{|\Delta\varphi|}{R_{\text{elettrica}}} \qquad I_{\text{s}} = \frac{|\Delta T|}{R_{\text{termica}}} \qquad I_{\text{v}} = \frac{|\Delta P|}{R_{\text{idraulica}}}
 \end{array}$$

Figura 8. Relazione tra i concetti di (intensità di) corrente, spinta e resistenza. Si noti l'analogia con l'elettricità (corrente elettrica I_e , tensione elettrica $\Delta\varphi$ e resistenza elettrica $R_{\text{elettrica}}$), la termologia (corrente di entropia I_s , differenza di temperatura ΔT e resistenza termica R_{termica}) e l'idraulica (corrente di liquido I_v , differenza di pressione ΔP e resistenza idraulica $R_{\text{idraulica}}$).

Conclusioni

L'esplicito utilizzo del concetto di potenziale chimico permette di descrivere in maniera più coerente, sistemica e sistematica i fenomeni che coinvolgono trasformazioni di sostanze senza dover ricorrere esplicitamente ai concetti di energia e di entropia. Esso offre inoltre la possibilità di cogliere parecchie analogie a livello strutturale con altri campi delle scienze naturali.

Nel presente articolo, per ovvie ragioni di spazio, non si è potuto descrivere la dipendenza del potenziale chimico dalla temperatura, dalla pressione e dalla concentrazione di una sostanza. Questo tema, che nelle nostre intenzioni sarà oggetto di prossime pubblicazioni, permette di considerare, ad esempio, tutto il capitolo relativo all'equilibrio chimico sotto un'ottica nuova per rapporto alla trattazione abituale. Ad esempio vale forse la pena accennare al fatto che il valore di pH, a meno di un fattore costante, corrisponde al potenziale chimico dello ione H^+ . Il potenziale chimico risulta quindi essere una grandezza centrale e trasversale a tutta la Chimica e più in generale a tutti i campi di studio confrontati con trasformazioni di sostanze. Rifacendoci al gioco delle analogie, rinunciare all'utilizzo del potenziale chimico nella presentazione della Chimica è come voler parlare di termologia senza servirsi del concetto di temperatura, oppure disquisire di elettricità senza accennare al potenziale elettrico, oppure ancora discutere di idraulica senza considerare la pressione...

Ringraziamenti

Si ringrazia il Prof. Dr. A. Togni dell'ETH di Zurigo per la preziosa disponibilità dimostrataci nella lettura e nella discussione del manoscritto.

Bibliografia

[1] Per quanto riguarda il Canton Ticino da ricordare il documento *L'energia nel corso di base delle scienze sperimentali del liceo: riflessioni e proposte* elaborato nella primavera 2003 dall'apposito Gruppo per il coordinamento degli insegnamenti di biologia, chimica e fisica e approvato dall'UIMS/DECS. I documenti possono essere ottenuti ai seguenti indirizzi web: <http://www.gesn.ch/TD/0/organizzatori%20cognitivi%20IV-03.pdf> e <http://www.gesn.ch/TD/0/energia%20IV-03.pdf> (maggio 2005)

[2] Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V., *Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden – Anregung zum gemeinsamen Nutzen von Begriffen und Sprechweisen in Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich I)*, Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU), inserto speciale Aprile 2004

[3] G. Bachelard, *Le pluralisme cohérent de la Chimie moderne*, Vrin, Paris, 2003

[4] W.B. Jensen, *J. Chem. Educ.*, 1998, **75**, 679-687

[5] J.E. Brady, J.R. Holum, *Chimica*, Zanichelli, Bologna, 1996, pp. 366-370

[6] F. Rouquerol, M. Laffitte, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1988, **704**, 559-565

[7] T.H. Bindel, *J. Chem. Educ.*, 2004, **81**, 1585-1594

[8] G. Job, *Chemische Reaktionen physikalisch beschrieben*, in G. Falk und F. Herrmann, *Konzepte eines zeitgemässen Physikunterrichts – Heft 4 – Reaktionen in Physik, Chemie und Biologie*, Schroedel, Hannover, 1981, pp. 14-31

[9] G. Job, *Das chemische Potential im Physik- und Chemie-Elementarunterricht*, in G. Falk und F. Herrmann, *Konzepte eines zeitgemässen Physikunterrichts – Heft 2 – Teil 2: Das Grössenpaar Menge und chemisches Potential*, Schroedel, Hannover, 1978, pp. 67-78

[10] F. Herrmann, *Der Karlsruher Physikkurs – Sek. I – Teil 3 – Reaktionen Wellen Atomen*, Aulis, Köln, 1995, pp. 9-25, (una traduzione in italiano è reperibile sul sito <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/> (maggio 2005))

F. Herrmann, *Der Karlsruher Physikkurs – Sek. II – Teil 2 – Thermodynamik*, Aulis, Köln, 2000

[11] S.J. Gill, *J. Chem. Educ.*, 1962, **39**, 506-510

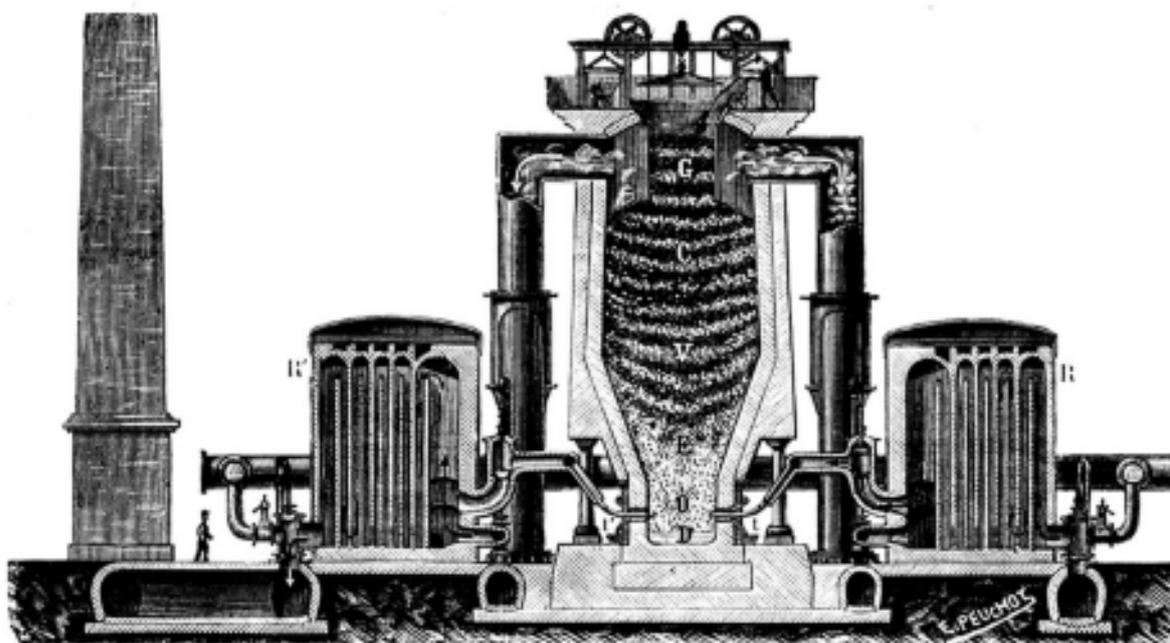
[12] H.U. Fuchs, *The Dynamics of Heat*, Springer, New York, 1996, capitolo 4

[13] P.W. Atkins, J. De Paula, *Chimica Fisica*, Zanichelli, Bologna, 2004

[14] K. Denbigh, *Prinzipien des chemischen Gleichgewichts*, Steinkopff, Darmstadt, 1974

[15] D.A. McQuarrie, J.D. Simon, *Chimica fisica – Un approccio molecolare*, Zanichelli, Bologna, 2002

- [16] R. Chang, *Physical Chemistry for the Chemical and the Biological Sciences*, University Science Books, Sausalito, 2000
- [17] T. Borer et al., *Physik – Ein systemdynamischer Zugang für die Sekundarstufe II*, Sauerländer, Aarau, 2000, p.72
- [18] D.A. McQuarrie, J.D. Simon, *Chimica fisica – Un approccio molecolare*, Zanichelli, Bologna, 2002, p. 883
- [19] P.S. Matsumoto, *J. Chem. Educ.*, 2005, **82**, 406-407
- [20] N. Hauf, *Corso di Chimica liceale* (manoscritto in pubblicazione, postumo), Karlsruhe
- [21] G. Job, *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 2004, **57/4**, 223-230
- [22] G. Job, *Die Werte des chemischen Potentials*, in G. Falk und F. Herrmann, *Konzepte eines zeitgemässen Physikunterrichts – Heft 4 – Reaktionen in Physik, Chemie und Biologie*, Schroedel, Hannover, 1981, pp. 95-110
- [23] Una raccolta di potenziali chimici può essere reperita sul sito www.job-stiftung.de: http://www.job-stiftung.de/pdf/datensammlung/chem_pot.pdf (aprile 2006)
- [24] D.I. Mendeleev, *Il sistema periodico degli elementi – a cura di Silvano Tagliabue*, Edizioni Teknos, Roma, 1994, pp. 131-133
- [25] A. Madlung, *J. Chem. Educ.*, 1996, **73**, 347-348
- [26] G. Bertini, P. Danise, E. Franchini, *Scienze per temi e moduli*, Mursia, Milano, 2000, p. 301
- [27] G. Job, *Reaktionen in der Biologie*, in G. Falk und F. Herrmann, *Konzepte eines zeitgemässen Physikunterrichts – Heft 4 – Reaktionen in Physik, Chemie und Biologie*, Schroedel, Hannover, 1981, pp. 84-94
- [28] F. Herrmann, *Der Karlsruher Physikkurs – Teil 3 – Reaktionen Wellen Atomen*, Aulis, Köln, 1995, p. 18



Haut fourneau.

L'INSEGNAMENTO DELLE SCIENZE IN EUROPA I CENTRI DI ECCELLENZA II Parte

LIBERATO CARDELLINI*

Riassunto

Vengono riportate alcune notizie circa importanti centri di eccellenza sviluppati in diversi Paesi Europei allo scopo di migliorare la qualità dell'insegnamento e dell'apprendimento. Sembra ragionevole affermare che in molti Paesi Europei la preparazione degli studenti viene presa molto sul serio e vengono investite risorse importanti per continuare a migliorarla. In tutti questi paesi si investe in strutture e capacità finalizzate a coinvolgere e motivare gli insegnanti di ogni ordine e grado. Basti pensare al progetto *Salters* in Inghilterra, con la sua rete di responsabili locali. La preparazione degli studenti viene continuamente monitorata attraverso studi di varia importanza e i risultati vengono seriamente valutati e utilizzati per modificare gli interventi. In Germania, a seguito dei risultati degli studi *TIMSS* (*Third International Mathematics and Science Study*, 1977) e *PISA* (*Programme for International Student Assessment*, 2000) è stato fondato il *KMRC*. Evidentemente in Italia l'istruzione in ogni ordine e grado marcia già al massimo, per cui non si sente il bisogno di miglioramento alcuno.

Abstract

In this paper some information about important excellence centers developed in various European countries are reported. The mission of these centers is to improve the quality of the instruction and the learning process. It seems reasonable to assert that in many European countries the meaningful learning of students is taken seriously and important resources are invested in order to improve it continuously. In all these countries, the structures are finalized to raise the ability and to motivate the teachers of every level of instruction. The students' learning is continuously monitored through local, national and international studies, and used and evaluated in order to modify the didactic interventions. In Germany, the results of the TIMSS (Third International Mathematics and Science Study, 1977) and PISA (Programme for International Student Assessment, 2000) studies, has lead to the founding of KMRC. Evidently, in Italy we feel satisfied with our national education system, because there is no room for improving it.

I centri di eccellenza sono delle strutture importanti per formare, aggiornare e motivare molti docenti allo scopo di raggiungere un livello sempre più elevato nella preparazione degli studenti. Questi centri sono la dimostrazione concreta dell'attenzione che i responsabili di quei paesi mostrano sia verso gli studenti – che come siamo soliti dire costituiscono il futuro della società – che verso la figura professionale dei docenti. Un altro fattore importante che può incidere sulla qualità dell'insegnamento può essere la percezione sociale della figura professionale: sarebbe interessante conoscere quanto sia ambita (o, forse, poco ambita!) nei desideri dei giovani la professione dell'insegnante nel nostro paese. Lo stipendio adeguato alla funzione svolta e la percezione dell'utilità sociale sono fattori essenziali che definiscono il prestigio della figura e l'autostima dei membri. Cosa avviene in paesi paragonabili al nostro?

Il Centre for Science Education (CSE) all'Università di Glasgow

Questo centro è nato negli anni '70 ed è stato sviluppato dal lavoro del Prof. Alex Johnstone (lauree in chimica e psicologia), insegnante di chimica nella scuola superiore e poi passato all'insegnamento universitario. Il prestigio del Prof. Johnstone deriva dal riconoscimento del lavoro pionieristico da lui fatto, che ha avuto origine quando ha incominciato ad esaminare la natura dei problemi connessi con l'apprendimento della chimica. Per diminuire le difficoltà che gli studenti incontravano nell'apprendimento vennero fatti importanti tentativi di intervento basati su strategie empiriche e da questi tentativi sono emersi dei modelli che hanno permesso di razionalizzare i molti dati empirici raccolti. Per la competenza conseguita con le sue ricerche nella didattica, nel 1994 il Prof. Johnstone ha avuto l'incarico di formare il *Teaching and Learning Service* (TLS), come servizio didattico per tutti i dipartimenti dell'università di Glasgow.

Il centro conta sull'apporto di otto docenti di varie discipline accademiche ed ha due scopi principali;

- formare i nuovi docenti universitari. Questa formazione trova fondamento nelle teorie didattiche ed è fortemente basata sulla ricerca e sulle pratiche pedagogiche;
- proporre e supportare le innovazioni didattiche in tutti i dipartimenti, fornendo consigli, competenze e favorendo scambi di esperienze tra i dipartimenti.

Il centro ha conquistato una grande credibilità internazionale ed è meta di professori in visita e attrae numerosi studenti da diversi paesi; al momento vi lavorano 16 laureati, 15 dei quali a tempo pieno, che, per il conseguimento del dottorato e del master, svolgono ricerche nell'inse-

gnamento e nell'apprendimento delle scienze a tutti i livelli, dalla scuola elementare all'istruzione superiore post-laurea.

Per il fatto che può contare su molti ricercatori e su una continuità del lavoro di ricerca nel tempo, il centro ha prodotto un grande numero di pubblicazioni in diversi aspetti importanti dell'educazione scientifica: stili di apprendimento, valutazione, problem solving, sviluppo di interessi specifici, modelli di apprendimento, concezioni scientifiche difformi, lavoro di laboratorio, tutoraggio.

Per maggiori informazioni: <http://www.gla.ac.uk/centres/scienceeducation/>

The Science Education Group all'University of York

Il gruppo di Science Education all'Università di York è importante nel Regno Unito per la sua profonda influenza nel curriculum nazionale e in moltissimi insegnanti. Il Salters Advanced Chemistry è un corso innovativo per studenti delle scuole superiori, dove i principi chimici sono sviluppati nel contesto di interessanti applicazioni moderne della chimica e del lavoro che i chimici fanno. Nel 2000 è uscita la quarta edizione di *Essential Chemical Industry*, un libro di testo usato in più del 50% delle scuole secondarie del Regno Unito. Il curriculum sviluppato dal gruppo di Science Education è stato adottato in altri paesi quali Belgio, Nuova Zelanda, Russia, Slovenia, Spagna, Svezia e Stati Uniti, e viene usato anche in altri paesi come Argentina e Brasile.

Questo gruppo, che attrae finanziamenti molto consistenti, ha organizzato importanti conferenze internazionali quali la 11th ICCE nel 1991, l'International Conference on Industry-Education Initiatives in Chemistry nel 1995, sempre per conto della IUPAC e l'European Conference on Industry and Education, nel 2000. Anche per questo gruppo l'Università di York sta costruendo un nuovo edificio, investendo 10 milioni di sterline, dove nel 2006 avrà luogo una conferenza internazionale sulla scienza e tecnologia per uno sviluppo sostenibile. Maggiori informazioni agli indirizzi: <http://www.sustained2006.org/>; http://www.uysg.org/ciec_home.htm; http://www.york.ac.uk/org/seg/about_us/pages/about_us_index.htm.

Il Knowledge Media Research Center (KMRC) di Tübingen, Germania

Il KMRC (www.iwm-kmrc.de) è un centro innovativo di ricerca per l'indagine sull'acquisizione di dati conoscitivi e sullo scambio di conoscenze con i nuovi mezzi educativi e di comunicazione. Il centro è stato formato nella primavera del 2001 e può contare su una quarantina di ricercatori – molti dei quali giovani e molto motivati – ed è membro del "Leibniz Society of Science" (WGL). La ricerca è finalizzata e segue due filoni principali. Da un lato vengono studiati i processi che favoriscono l'apprendimento individuale multimediale e ipermediale. In questo campo, soggetti della ricerca sono le problematiche del controllo dell'apprendimento, le strategie adattative dell'utente, l'apprendimento attraverso la visualizzazione, la progettazione di ambienti di apprendimento multimediale e il sostegno della competenza degli allievi nell'uso di tali ambienti. D'altra parte, il KMRC ha un grande interesse per le tecniche più efficaci di insegnamento quali gli scenari di apprendimento in collaborazione e per la comunicazione basata su Internet. Principi guida per la ricerca:

– *Interdisciplinarietà*: KMRC utilizza il metodo interdisciplinare ed integra le prospettive della scienza conoscitiva e della scienza educativa con le nuove tecnologie.

– *Combinazione della ricerca di base con quella applicata*: La strategia di ricerca al KMRC comprende la ricerca di base sull'apprendimento che utilizza i media come pure ricerche applicate su come implementare e valutare l'apprendimento basato sui media nelle aree principali del sistema educativo (scuola, università e formazione continua).

– *Collaborazione e partecipazione internazionale*: KMRC stabilisce le collaborazioni nazionali ed internazionali con altri centri di ricerca. È strettamente associato con il Department of Applied Cognitive Psychology and Media Psychology dell'Università di Tübinga.

– *Controllo della qualità*: Vari controlli interni (per esempio, politica delle pubblicazioni e controllo delle attività di ricerca correnti) ed esterni (comitato scientifico consultivo) sono utilizzati per assicurare ed aumentare la qualità della ricerca al KMRC.

I progetti di ricerca sviluppati nel KMRC sono finanziati dal Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Fondazione scientifica Tedesca), dal Ministero per la formazione e la scienza (BMBF) e da altre agenzie di finanziamento come pure da partner industriali. Le attività nel KMRC sono organizzate in tre unità di ricerca, nelle aree dell'acquisizione e nello scambio di conoscenza con i nuovi mezzi: apprendimento con multimedia e ipermedia; apprendimento con telemedia; progetto ed implementazione di ambienti di apprendimento basati sui media. Attualmente 15 studenti laureati dalle università di Tübingen, Freiburg, Saarbrücken, Heidelberg e Muenster – insieme ai loro supervisori – partecipano al programma di Ph.D. virtuale "Knowledge Acquisition and Knowledge Exchange with New Media" (VGK).

L'IPN (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften), università di Kiel

La missione di questo Istituto per la Didattica delle Scienze è quella di sviluppare e promuovere la didattica delle scienze attraverso la ricerca. Il lavoro di ricerca è focalizzato sulle domande che riguardano l'insegnamento e l'apprendimento delle scienze. All'IPN, gruppi di scienziati, esperti nella didattica delle scienze, pedagoghi e psicologi lavorano insieme. Forte di 132 ricercatori che afferiscono a sei diversi dipartimenti: Scienze Educative (28 ricercatori); Didattica della Biologia (35); Didattica della Chimica (26); Didattica della Fisica (20); Metodologia della Ricerca (6); Direzione e Amministrazione (17).

Le maggiori aree di ricerca comprendono: Scopi e prospettive della didattica delle scienze; Modelli per insegnare e apprendere le scienze; Concetti innovativi per la didattica delle scienze; Nuovi media; Monitoraggio della didattica e metodologie per la ricerca; Miglioramento della qualità nella didattica delle scienze; Servizi.

Già quanto sopra riportato induce a pensare ad una organizzazione possente – alla tedesca, per dirla con una immagine positiva – ma è approfondendo il programma prioritario lanciato dalla DFG e chiamato BIQUA (Die Bildungsqualität von Schule), che ci si convince che la Germania appartiene ad un altro pianeta. È stato riportato [1] del progetto nazionale coordinato dal Prof. Prenzel che coinvolge 180 scuole nell'insegnamento della matematica

e delle scienze attraverso il metodo Cooperative Learning. È come se i dati dello studio PISA 2000 e ancor prima lo studio TIMSS (Third International Mathematics and Science Study, 1997) abbiano dato una salutare scossa a tutto il sistema educativo tedesco e gli insegnanti accolgono con favore le innovazioni proposte dagli specialisti in quanto ritenute serie, finalizzate a migliorare la formazione degli studenti e la loro prestazione professionale. Il programma BIQUA è un contenitore che incapsula diversi progetti e la didattica della chimica fa la sua figura. Al momento sono attivi 20 importanti progetti di ricerca.

L'IPN è un centro scientificamente molto attivo; ha organizzato diverse conferenze alle quali hanno contribuito studiosi di fama internazionale ed ha prodotto pregevoli pubblicazioni, tra le quali:

R. Duit, C. von Rhöneck (Eds.), *Lernen in den Naturwissenschaften*, Kiel: IPN, 1996.

W. Gräber, C. Bolte (Eds.), *Scientific Literacy*, Kiel: IPN, 1997.

H. Bayrhuber, K. Etschenberg, U. Gebhard, K.-H. Gehlhaar,

R. Hedewig, M. Hesse, S. Klautke, R. Klee, J. Mayer, M. Prenzel, E. G. Schmidt (Hrsg.), *Biologie und Bildung*, Kiel: IPN, 1998.

L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger, J. Baumert (Eds.), *Interest and Learning*, Kiel: IPN, 1998.

M. Lang, J. Olson, H. Hansen, W. Bünder (Eds.), *Changing Schools/Changing practices: Perspectives on Educational Reform and Teacher Professionalism*, Brussels: IPN & Garant Publishers, 199.

P. Häußler, K. Frey, L. Hoffmann, J. Rost, H. Spada, *Physikalische Bildung für heute und morgen. Education in Physics for Today and Tomorrow*, Kiel: IPN, 1988.

P. Häußler, W. Bünder, R. Duit, W. Gräber, J. Mayer, *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*, Kiel: IPN, 1998.

M. Minssen (Hrsg.), T. Popp, W. de Vos, *Strukturbildende Prozesse bei chemischen Reaktionen und natürlichen Vorgängen*, Kiel: IPN.

U. Bosler, J. Lehmann, A. Lude, K. Teamey, *The Cross-*

Progetto	Finalità
BIQUA	The quality of school: Studying students' learning in math and science and their cross-curricular competencies depending on in-school and out-of-school contexts
ChemNet	Learning Chemistry via the Internet
ChiK	Chemistry in Context
Co-Lab	Colaborative laboratories for Europe
Environmental Education	Environmental Education and Sustainable Development
EUDIST	A European Comenius 2.1 project for the development of best practices in school-based science teacher education
Research on Expertise	Research on the influence of knowledge and experience on competent learning and problem solving
IGLU-E	A Study of the Mathematics and Science Levels of Competency at the End of Elementary School
LLL	Project with primary schools: Support of basic preconditions for lifelong learning
Multimedia Chemistry	Computer visualisation and thinking in models
NeuroMedia	Teaching Neurobiology using New Media
Non-linear Systems	Teaching and learning of non-linear systems
ParIS	Partnership between Chemical Industry and School Partnership between Chemical Industry and School
PISA	OECD Programme for International Student Assessment
QuiSS	Quality Improvement in Schools and School Systems
QuiSS-ProSa	Professionalization of teacher activity in general science instruction in primary schools
SEMIK	Systematic use of new media and information technologies in the classroom
SINUS	Pilot Program Increasing the Efficiency of Mathematics and Science Education; System Earth. Integrative earth science teaching
Videotape Study	A Videotape Classroom Study about Differences in Teaching and Learning in Physics Classes

National River Network Project. Schools for a living River Elbe, Kiel: IPN, 2000.

H. Bayrhuber, F. Brinkman (Eds.), *What – Why – How? Research in Didaktik of Biology. Proceedings of the First Conference of European Researchers in Didaktik of Biology (ERODOB)*, Kiel: IPN, 1998.

H. Bayrhuber, W. Garvin, J. Grainger (Eds.), *Teaching Biotechnology at School: A European Perspective*, Kiel: IPN, 2000.

K. Riquarts, C. Wadewitz, *Framework for Science Education in Germany*, 4th Rev. Ed. 2003, Kiel: IPN, 2003. Maggiori informazioni si trovano all'indirizzo: <http://www.ipn.uni-kiel.de>.

The Open University

L'Open University (OU) è la più grande università inglese, con oltre 200.000 studenti e clienti e serve il 22% di tutti gli studenti part-time dell'educazione superiore nel Regno Unito. Puntano molto sull'istruzione di qualità; delle 23 materie valutate dall'Agenzia per la certificazione della qualità, 17 sono state valutate come 'eccellenti'. Ad esempio più di 2.000 studenti studiano chimica o corsi di chimica ogni anno; il Dipartimento di Chimica è stato valutato come 'eccellente' ed è stato uno dei 12 dipartimenti delle università Inglesi tra i 72 valutati a raggiungere questo standard. I corsi sono disponibili in tutta Europa e 26.000 studenti risiedono al di fuori dell'UK. Pur non essendo richiesto un titolo di studio di scuola superiore (circa un terzo degli iscritti ha un titolo di studio inferiore), circa il 70% degli studenti ogni anno completano i loro corsi. La grande maggioranza degli studenti sono studenti-lavoratori e più di 150.000 studiano on-line.

L'OU opera utilizzando molti tutor part-time: specialisti in genere impiegati a tempo pieno in altre università. Nel campo delle scienze operano avendo quattro direttori responsabili, biologia, chimica e scienze ambientali, fisica, matematica. Gran parte dello sforzo educativo dell'OU è rivolto alla formazione dei tutor attraverso seminari e workshop. Allo scopo sono stati sviluppati una serie di 'Teaching toolkits', accessibili in rete agli addetti. Ho avuto modo di valutare "Effective group work" e va riconosciuta l'eccellente qualità del manuale, dove vengono previste tutte le situazioni e suggeriti al tutor comportamenti adeguati. Il testo è ricco di 'pause per pensare', dove vengono suggerite situazioni nella pratica, stati d'animo,

spunti e problemi didattici, e vengono poste domande, per facilitare e stimolare la riflessione. Molti di noi insegnanti vorrebbero avere studenti o classi con meno problemi; il toccare con mano i problemi incontrati dai tutor della OU – molto simili ai problemi degli insegnanti delle scuole serali – ci dovrebbe senza dubbio far ritenere molto fortunati. Maggiori informazioni si trovano all'indirizzo: <http://www.open.ac.uk/>

LTSN (Learning and Teaching Support Network) all'Univeristy of Hull

Questo centro fondato nel febbraio 2000 è finanziato dall'Higher Education Funding Councils of England and Wales, dallo Scottish Higher Education Funding Council, dal Department of Education Northern Ireland ed è supportato dalle università di Hull, Liverpool, Surrey e Leeds. Il lavoro di questo centro consiste nel fornire informazioni e consigli sulle buone pratiche didattiche e innovazioni che riguardano l'apprendimento, l'insegnamento e la valutazione, oltre a produrre materiale utile per supportare gli insegnanti e migliorare l'insegnamento delle scienze fisiche nell'istruzione superiore in UK. Tra gli scopi del centro:

- Identificare, incoraggiare e supportare le innovazioni pedagogiche e le pratiche migliori nell'insegnamento e nell'apprendimento delle scienze fisiche;
- Mantenere, supportare ed estendere il network di insegnanti di chimica, fisica e astronomia e farli familiarizzare per formare un unico gruppo di insegnanti delle scienze fisiche;
- Promuovere la consapevolezza degli sviluppi pedagogici correnti con tutti i mezzi disponibili;
- Incoraggiare la ricerca basata sulle discipline e sugli sviluppi dell'apprendimento e dell'insegnamento nelle scienze fisiche;
- Promuovere l'integrazione delle tecniche ICT (Information and Communication Technologies) appropriate per accrescere la qualità dell'insegnamento, dell'apprendimento e della valutazione;
- Organizzare attività di sviluppo professionale ad ampio raggio per l'insegnamento e per l'apprendimento delle scienze fisiche.

Per dare una panoramica completa sul copioso materiale disponibile conviene riportare l'Home Page del sito: www.physci.ltsn.ac.uk.



Figura 1. Home Page del LTSN. Riprodotta per gentile concessione del direttore, Dott.ssa Tina Overton.

Dalla colonna di sinistra ci si rende facilmente conto dell'abbondanza di materiale che si può trovare in questo sito: di alcune voci verrà riportata una breve descrizione. La prima voce è: *Newsletters*. Finora sono state pubblicate 12 newsletters; accanto al numero, viene riportato un breve sommario. Sul numero 10 sono riportati due articoli che possono essere di interesse per noi; uno di Lillian McDermott, University of Washington, dal titolo "Improving Student Learning in Science through Discipline-based Education Research" e l'altro di George Bodner, Purdue University, dal titolo "Problem Solving: The Difference Between What We Do and What We Tell Students To Do".

News 1	Introduces the Centre, describes our aims plus the services we will provide and how to contact us
News 2	National launch of Centre, website re-launch, project ASTER, Centre development projects, Transend project
News 3	Advisory Committee, Student recruitment, more Development Projects, Practice Guides, New Staff
News 4	Learning from subject reviews, a new dawn, could undergraduate physics teaching be better, practice guides, briefing papers and primers, new on our web site
News 5	FDTL 4, Student Numbers, New Development Projects, Sharing Effective Practice
News 6	FDTL Phase 4, Development project reports, Departmental visits programme, Briefing Papers and Primers
News 7	Is the future of physics flourishing? Crime pays! - the Forensic Science SIG. New Centre staff
News 8	The new Special Educational Needs and Disability Act plus C&IT in education
News 9	The future of LTSN, Employability Project, Development Project reports, FDTL 4 News, the MathsTEAM Project
News 10	Student recruitment, Improving student learning, Problem Solving, SIG on Formative Assessment, New Development Projects
News 11	Centres for Excellence in Teaching and Learning, Quality Enhancement Themes for Scotland, Development project reports, FDTL 4 updates, i-Science, Forensic Science Project Update
News 12	Rebranding the Centre, Forensic Science, The Chemistry Box, The Institute of Physics Higher Education Group, Streaming Video: Some Practicalities, Centres for Excellence in Teaching and Learning, Addressing HE priorities, New look web site, New Development Projects, Good Bye, Employability Resources

Alla voce: *journals*, si trovano recensioni di software, siti web e libri. Nei numeri pubblicati sono stati recensiti 50 software packages, 20 siti web e 112 libri: la maggior parte del materiale si riferisce alla chimica. Un'altra voce interessante è: *Practice Guides* (things that work!). Si tratta di 12 pregevoli volumi scritti in modo comprensibile e autorevole da colleghi, la maggior parte dei quali sono dei chimici. È possibile scaricare gratuitamente tutte le guide:

Autore/i	Titolo
Roger Gladwin, Simone Richardson	An introduction to the web and web authoring
David Palmer, Norman Reid	Annotated bibliography of research into teaching and learning of the physical sciences in HE
Phil Race	Designing Assessment to Improve Physical Sciences Learning
Stuart W. Bennett	Designing Independent Learning Material for the Physical Sciences
Della Grice, Roger Gladwin (Eds)	Developing Employability Skills
Alex Johnstone	Effective Practice in Objective Assessment
Alex Johnstone	Evaluation of Teaching
Norman Reid	Getting Started in Pedagogical Research in the Physical Sciences
Robert Murray, Ray Wallace	Good Practice in Industrial Work Placement
Averil Macdonald	Outreach - A Guide to Working with Schools and Colleges
Kieran F. Lim	The Chemistry Style Manual
Paul Chin	Virtual Learning Environments

La voce che segue è: *toolkits*. Raccoglie e fornisce rapporti, informazioni, risorse, materiale da scaricare circa un certo argomento: Assessment Toolkit, Copyright Issues in Higher Education, Employability, Enabling accessibility in the curriculum for the Physical Sciences, Personal Development Planning, Student recruitment and retention in the Physical Sciences, Tackling the Mathematics Problem for Chemistry, Tackling the Mathematics Problem in the Physical Sciences, Teaching a Physics Laboratory Module to Blind Students, Virtual/Managed Learning Environments, Widening Participation.

Interessante è la voce *Workshop reports*, in cui vengono riassunte le presentazioni di workshop svolti allo scopo di aiutare lo sviluppo professionale dei partecipanti. Il numero di workshop e il numero dei partecipanti danno un'idea precisa della grande mole di lavoro che il centro svolge: certamente si può dire che l'idea che muove tutto questo lavoro è che il miglioramento della qualità dell'insegnamento passa per lo sviluppo professionale dei docenti, piuttosto che per qualche nuova riforma. Alle volte è anche possibile scaricare del materiale; alcuni titoli: Helping Chemists to Tackle the Maths Problem, Variety in Chemistry Education 2004, Student Support & Retention in the Physical Sciences, Supporting Students with Disabilities in the Physical Science, Forensic Science Meeting, Research in Teaching and Learning: Getting Started, New Courses-New students, Using Virtual Learning Environments to Support Learning and Assessment, Creative Science Teaching in Higher Education Workshop Weekend; Forensic Science Swapshop; Using the web to teach – does it work?; Personal development planning; Context based learning; Variety in Chemistry Teaching 2002; Evolving Science – new courses for new students; Using the web to teach – Does it work?; Problem-based learning in Chemistry; A Maths Toolkit for Scientists. La voce *Courseware* raccoglie informazioni (libri, simulazioni, software) per corsi di Chimica Generale, Fisica Generale e Scienze, come pure per Chimica analitica, Chimica fisica, Chimica teorica, Matematica, cristallografia e molto altro ancora.

Da questi cenni sommari balza in evidenza la grande importanza che viene attribuita all'insegnamento e soprattutto all'apprendimento delle scienze in Europa. Dato che ci si riferisce a paesi con un reddito pro-capite tra i più elevati al mondo, non sarebbe fuori luogo riflettere sulle valenze anche economiche derivanti dalla qualità dell'insegnamento. Come è stato notato dal presidente della Carnegie Corporation di New York (e presidente della Brown University dal 1988 al 1997), "For more than two centuries, America's colleges and universities have been the backbone of the country's progress." [2]

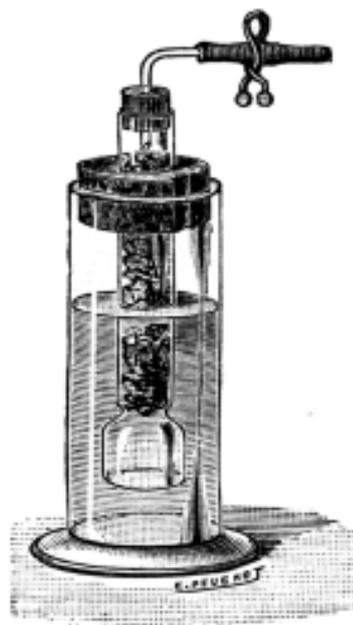
Forse noi chimici troviamo ancora più convincenti le parole di Elias Corey, premio nobel per la Chimica nel 1990 per gli "sviluppi della teoria e della metodologia della sintesi organica": "Sono assolutamente convinto che la sinergia tra la ricerca e la formazione è uno dei grandi aspetti della scienza moderna e uno dei migliori investimenti che una società può fare per il suo futuro. Sfortunatamente, questa felice relazione non è ancora molto apprezzata." ¹

Nota

¹ "I am absolutely convinced that the synergy between research and education is one of the great aspects of modern science and one of the best investments a society can make in its future. Unfortunately, this happy relationship is still not widely appreciated." [3]

Bibliografia

- [1] L. Cardellini, 10th EARLI (European Association for Research on Learning and Instruction), *La Chimica nella Scuola*, 2004, **XXVI** (1), 26-30.
 [2] V. Gregorian, "Per più di due secoli, i colleges e le università americane sono stati la spina dorsale del progresso del paese", *The Secret of Our Success*, Newsweek, September 15, 2003, p. 58.
 [3] E. J. Corey, Impossible Dreams, *J. Org. Chem.*, **2004**, *69*, 2917-2919, p. 2918.



Appareil pour le dégagement des gaz.

Tra fisica e chimica: dal flogisto agli Opuscules di Lavoisier

MARCO CIARDI*

La riscoperta del *De rerum natura* di Lucrezio (98 ca. – 55 a.C.) durante l'Umanesimo influenzò in maniera sensibile le teorie della materia nel corso del Cinquecento e del Seicento, contrapponendosi ai tradizionali modelli fondati sulle dottrine aristoteliche ed alchemiche. A differenza degli atomisti dell'antichità, i filosofi e gli scienziati del Seicento non pensarono, tranne qualche rara eccezione, che il mondo fosse il risultato della combinazione casuale delle particelle. La filosofia meccanica, o meccanicismo, si venne costruendo intorno ad un principio fondamentale: la distinzione fra qualità oggettive e qualità soggettive dei corpi. Le qualità soggettive erano rappresentate dai colori, i suoni, i sapori, gli odori. Le qualità oggettive avevano a che fare con una realtà diversa e inaccessibile agli organi di senso, e costituivano le proprietà fondamentali della materia; tali qualità erano la dimensione, la forma e lo stato di movimento delle particelle prime e fondamentali. Parallelamente alla visione meccanicistica del mondo, si sviluppò una visione alternativa della materia che ebbe la sua matrice teorica nella filosofia chimica di Paracelso (1493 ca. – 1541). Legando l'alchimia alla medicina, Paracelso dette vita ad una nuova disciplina, la *iatrochimica*, e propose di unificare la teoria dei quattro elementi con quella dei principi, affiancando tuttavia allo zolfo e al mercurio una terza sostanza, il sale, che sarebbero andati a rappresentare nel tempo i cosiddetti *tria prima*. Nel corso del Seicento numerose furono le teorie della materia che si riferirono ai quattro elementi aristotelici o ai *tria prima* paracelsiani, ma non mancarono i tentativi di trovare un accordo fra filosofia meccanica e filosofia chimica.

Lo sviluppo, nel corso dell'età moderna, della chimica come arte analitica sperimentale al servizio della medicina deve indubbiamente molto alla diffusione della filosofia chimica di Paracelso. Ecco, per esempio, cosa riportava il *Piano scientifico* per l'Università di Pavia, approvato il 4 novembre 1773, nel quale si rendevano espliciti i motivi che avevano indotto i riformatori ad introdurre l'insegnamento della chimica all'interno della facoltà di Medicina:

Per esercitar bene, ed utilmente la Medicina, è necessario di conoscere l'indole, la natura, ed i caratteri dei rimedi, che si compongono, e che si danno. Per questo nella Me-

dicina non si può far a meno della Chimica, per scoprire il mistero della varia unione, de' principj nella composizione de' Corpi: e discernere, quanto i tre Regni, somministrano ad uso della Medicina, e dei comodi della Vita. Il Professore dunque esaminando, ed analizzando le parti componenti i diversi Corpi dal Regno Vegetabile, passerà all'Animale, indi al Minerale, e tentando colle diverse operazioni i Corpi medesimi, ne dimostrerà i prodotti, e nello stesso tempo apprenderà ai suoi Scolari il metodo d'esperimentare cautamente. Siccome la Chimica deve dal Professore essere principalmente indirizzata ad uso della Medicina, egli avrà cura d'indicare la virtù, le dosi, e le più utili composizioni di questi prodotti.

Non è dunque fondata l'interpretazione che rintraccia esclusivamente nel programma meccanicistico i presupposti per la fondazione della chimica moderna come disciplina. Non è certo un caso che la teoria dominante nell'ambito della ricerca chimica nel XVIII secolo sia stata formulata da un medico. Nel 1697, in un lavoro sulla fermentazione dal titolo *Zymotechnia fundamentalis*, il tedesco Georg Ernst Stahl (1659 – 1734), professore di medicina all'Università di Halle, espone per la prima volta la sua teoria sulla materia ispirata alla chimica rinascimentale dei principi ideata da Paracelso. Stahl si rese conto che gli atomi e le proprietà meccaniche rendevano impossibile l'utilizzazione in chimica di contenuti e metodi specifici in grado di spiegare la varietà e la composizione delle sostanze. Egli non negava in assoluto la possibilità di una natura corpuscolare della materia, ma riteneva la sua esistenza di secondaria importanza per lo sviluppo delle conoscenze sulla proprietà chimiche dei corpi. Stahl, tuttavia, si spinse più in là della tradizione cui faceva riferimento, esemplificata, nella prima metà del XVII secolo, dal *Tyrocinium chemicum* (1610) del farmacista francese Jean Beguin (1550-1620), il manuale più diffuso dell'epoca. Quest'opera era costituita da una breve parte teorica, dedicata ad elencare gli elementi dei corpi, che risultava essere avulsa dai successivi capitoli, dedicati alle tecniche pratiche di analisi delle sostanze. Al contrario, Stahl cercò di concentrare la sua attenzione su classi di fenomeni che potessero essere studiati grazie ad una proficua unione fra l'analisi teorica e quella sperimentale. Avendo l'incarico di sovrintendere ai distretti minerari della Turingia, Stahl si occupò attivamente di numerose questioni concernenti la metallurgia. Egli propose così l'impiego di un nuovo agente chimico denominato *flogisto* (dal greco, *infiammabile*) in grado di spiegare in maniera coerente ed unitaria i processi di combustione e di calcinazione. Secondo Stahl, il flogisto abbandonava i corpi durante queste operazioni, che costituivano quindi

processi di scomposizione. La reazione in senso inverso, invece, quella che oggi viene comunemente indicata con il termine *riduzione* costituiva una combinazione. Questo schema teorico si scontrerà tuttavia con una difficoltà sperimentale già ben nota ai chimici del Settecento. Le calci (ovvero gli ossidi, ma solo dopo Lavoisier), risultavano più pesanti dei metalli; dunque, alla perdita di flogisto (calcinazione) era associato un aumento di peso, mentre la combinazione del flogisto produceva una diminuzione di peso. Tale problema sarà risolto soltanto durante la seconda metà del Settecento, nel corso della rivoluzione chimica.

In uno dei tanti manuali universitari del Settecento, le *Lezioni sui fluidi elastici* (1783-84) di Simone Stratico (1733 – 1824), professore di Fisica sperimentale all'Università di Padova, è fornita una classica definizione di questa particolare sostanza:

Il flogisto è una sostanza semplice elementare, omogenea immutabile unica in tutti i corpi atti a prender fuoco, e ad alimentarlo, la quale da essi si distacca nell'atto della combustione, e si diffonde nell'aria. Questa sostanza non è osservabile di per sé sola, perché tale non si trova giammai, ma sempre in combinazione a de' corpi.

Le proposte teoriche di Stahl misero in luce, in maniera evidente, le lacune del programma meccanicistico, che intendeva subordinare la chimica ai principi della fisica, e furono ampiamente condivise nel corso del XVIII secolo. Nel secolo dei Lumi, comunque, numerosi studiosi si prodigarono nel tentativo di dare una risposta di tipo quantitativo alle speculazioni chimiche contenute nell'*Opticks* di Isaac Newton (1643 – 1727) sulle forze operanti nel mondo microscopico.

L'opera di Newton cercò di superare il meccanicismo attraverso l'introduzione del concetto di forza. Newton formulò una legge matematica universale relativa alle proporzioni delle forze che regolavano sia il moto degli oggetti sulla Terra sia il movimento dei pianeti, unendo così la fisica terrestre a quella celeste. Newton ritenne possibile l'applicazione della legge dell'attrazione a tutti i fenomeni esistenti in natura, inclusi quelli chimici. In particolare, fu la trentunesima *Query* ad assumere la forma di un vero e proprio trattato chimico, diventando il punto di riferimento essenziale per tutti coloro che si dedicarono alla definizione e alla misurazione delle forze che agivano a breve, insensibile distanza fra le particelle ultime del mondo materiale:

Le parti più piccole dei corpi non hanno certe potenze, virtù o forze per effetto delle quali agiscono a distanza, non solo sui raggi di luce per rifletterli, rifrangerli e fletterli, ma anche le une sulle altre, al fine di produrre una gran parte dei fenomeni della natura ?

Secondo i principi della filosofia meccanica, la reazione tra una sostanza acida ed una alcalina, ad esempio, poteva essere spiegate semplicemente ammettendo che le particelle degli alcali fossero dotate di pori, i quali permettevano la penetrazione delle particelle degli acidi, dotate di spigoli ed estremità acute. La neutralizzazione, dunque, era il risultato di particolari e determinati rapporti fra le misure dei pori degli alcali e le asperità degli acidi. Newton, introducendo l'idea di forze che regolavano i fenomeni

microscopici della natura, spostava la questione da un piano geometrico ad un piano dinamico. Le combinazioni diventavano una questione di maggiore o minore affinità tra le sostanze.

L'idea che le reazioni chimiche non potessero essere spiegate soltanto sulla base di scontri fra corpuscoli rivela chiaramente il forte debito di Newton nei confronti della tradizione alchemica. Secondo Newton, infatti, il meccanicismo non era sufficiente a spiegare l'incredibile varietà dei fenomeni naturali e, in modo particolare, i processi relativi al mondo organico, quali la generazione, la fermentazione o la putrefazione. Egli, tuttavia, affermava in maniera molto precisa che le forze attive a cui si riferiva erano tutt'altra cosa rispetto alle qualità occulte che tanto spazio avevano avuto nelle filosofie della natura rinascimentali:

Mi sembra inoltre che queste particelle possedano non soltanto una forza di inerzia accompagnata da quelle passive leggi del moto che risultano naturalmente da quella forza, ma anche che esse vengano anche mosse da certi principi attivi come quello della gravità e quello che è causa della fermentazione e della coesione dei corpi. Io considero questi principi non come qualità occulte che si immaginano sorgere dalle forme specifiche delle cose, ma come leggi generali della natura, dalle quali le stesse cose sono formate. La realtà di questi principi ci si manifesta attraverso i fenomeni, quantunque non se ne siano ancora scoperte le cause. Queste qualità sono palesi, infatti, soltanto le loro cause sono occulte. Gli Aristotelici hanno dato il nome di qualità occulte non alle qualità palesi, ma soltanto a quelle qualità che essi ritenevano essere nascoste nei corpi, e che ritenevano essere le cause sconosciute di effetti palesi: come sarebbero le cause della gravità, delle attrazioni magnetiche ed elettriche e delle fermentazioni, se supponessimo che tali forze o azioni nascono da qualità a noi sconosciute, e che non possono essere scoperte ed essere rese manifeste. Tali qualità occulte ostacolano il progresso della filosofia naturale e perciò in questi ultimi tempi sono state respinte. Affermare che le singole specie delle cose sono dotate di una specifica qualità occulta, e per mezzo delle quali essa agisce e produce fenomeni palesi, equivale a non dire nulla. Ma derivare dai fenomeni due o tre principi generali del moto e poi spiegare come le proprietà e le azioni di tutte le cose corporee derivino da questi principi palesi, sarebbe un grandissimo passo in avanti nella filosofia, anche se le cause di questi principi non fossero ancora conosciute. Perciò non esito a proporre i principi del moto, sopra menzionati, essendo di larghissima estensione, e a lasciare che altri scopra le loro cause.

Le idee newtoniane non furono messe in contrapposizione con la teoria di Stahl, ma andarono a far parte di un più complesso programma antimeccanicista in chimica. Si giunse, così, alla realizzazione delle cosiddette *tavole di affinità*, che conobbero una grande fortuna nel corso del Settecento, soprattutto in Francia ed in Germania. Fra queste è da ricordare la *Table des différents rapports observés en Chymie entre différentes substances* (1718) di Etienne-François Geoffroy (1672 - 1731), un apprezzabile tentativo di ordinare e classificare le sostanze e le reazioni fino ad allora conosciute. L'opera più completa ed approfondita sulle forze agenti a livello microscopico venne pubblicata nel 1775 (e in versione ampliata nel 1783) dal chimico e

mineralogista svedese Tobern Olaf Bergman (1735 - 1784) con il titolo *Disquisitio de attractionibus electivis*. Essa, tra l'altro, influenzò anche la realizzazione del celebre romanzo *Le affinità elettive* (1809) di Johann Wolfgang Goethe (1749 - 1832), il quale, com'è noto, offrì un importante contributo allo sviluppo della conoscenza scientifica. Tuttavia, nonostante lo sviluppo della teoria delle affinità, i chimici non furono in grado, nel corso del Settecento di dar vita ad un sistema che riuscisse a prevedere il comportamento delle reazioni chimiche. Per raggiungere questo obiettivo, era prima necessario costruire un sistema che permettesse la quantificazione del livello macroscopico della materia.

Le teorie della materia nel Settecento furono rivoluzionarie dalla scoperta del terzo stato della materia, quello gassoso. In generale, la visione della materia dei chimici nella prima metà del XVIII secolo continuò a basarsi sui quattro elementi di Aristotele e sui tre principi di Paracelso, che assumevano ruoli e caratteristiche diverse a seconda della teoria di riferimento. Obiettivo del chimico era quello di cercare di ricondurre, durante le proprie operazioni di laboratorio, le sostanze complesse a tali elementi o principi. In linea di massima, la trasmutazione (e non la combinazione) degli elementi veniva ammessa senza particolari riserve o perplessità. Alla metà del Settecento, Guillaume-François Rouelle (1703 - 1770), i cui corsi a Parigi (che ebbero uno straordinario successo) furono seguiti da personaggi del calibro di Rousseau, d'Holbach e Diderot, oltre che da Lavoisier, trattava senza alcun problema all'interno delle sue lezioni della pietra filosofale e dell'elisir di lunga vita.

I chimici settecenteschi conoscevano ben poche delle sostanze oggi note come elementi; molte di tali sostanze erano già note nell'antichità: rame, oro, argento, piombo, stagno e ferro tra i metalli, carbonio e zolfo fra i non metalli. Altri elementi, come zinco, arsenico, antimonio e bismuto furono individuati dagli alchimisti medievali. Per il ritrovamento di un elemento collegabile direttamente con il nome del suo scopritore bisogna attendere il 1699, quando l'alchimista tedesco Hennig Brand (? - ca.1692), nel tentativo di rintracciare l'oro nell'urina, venne in contatto con una sostanza luminosa che denominò *fuoco freddo*. Il bagliore era naturalmente dovuto alla combustione spontanea del fosforo nell'aria.

Fin dai tempi di Aristotele l'aria era stata considerata una sostanza di tipo elementare e primario. Nella nuova chimica di Stahl essa costituiva, assieme al fuoco, uno strumento del cambiamento chimico, mentre soltanto l'acqua e la terra erano elementi (oltre al sale e allo zolfo). Nel 1727, tuttavia, il medico inglese Stephen Hales (1677 - 1761), nell'opera dal titolo *Vegetable Staticks* (1727), dedicata allo studio della fisiologia delle piante, segnalò che l'aria poteva fissarsi nei vegetali, con i quali si combinava dando luogo ad una modificazione chimica. Questo fatto, perciò, violava palesemente la teoria di Stahl. Hales non si rese ben conto della sua scoperta e non ritenne opportuno approfondire la questione. Tuttavia, la sua fondamentale osservazione, pur non entrando al centro dei dibattiti chimici fino alla metà del secolo, attirò comunque l'attenzione della comunità scientifica internazionale. Non a caso Buffon tradusse l'opera di Hales in francese nel 1735.

28 Nel 1752 il medico scozzese Joseph Black (1728 - 1799) ritornò sull'argomento. Scopo delle ricerche di Black era quello di stabilire se la cosiddetta *magnesia alba* (ovvero

carbonato di magnesio, $MgCO_3$) potesse costituire un rimedio efficace nella cura di problemi quali l'acidità di stomaco o la *pietra*, cioè il calcolo urinario: «La mia curiosità mi condusse tempo fa ad analizzare più particolarmente la natura della magnesia e specialmente a confrontare le sue proprietà con quelle delle altre terre assorbenti, le quali mi apparvero di specie diversa, sebbene vengano comunemente confuse sotto lo stesso nome. Fui condotto a questo esame delle terre assorbenti dalla speranza di scoprire una nuova specie di calce e di acqua di calce che potesse essere un solvente della *pietra* più potente di quelli usati comunemente» I risultati delle esperienze, descritti nella sua tesi di dottorato e nella memoria dal titolo *Experiments upon Magnesia Alba, Quicklime and Some Other Alcaline Substances*, letta nel 1755 alla Royal Society di Edimburgo, condussero Black ad una scoperta assolutamente rivoluzionaria: sottoponendo la magnesia alba ad un forte calore, egli aveva ottenuto non soltanto una nuova sostanza, denominata *magnesia usta* (ossido di magnesio, MgO), ma anche una sostanza aeriforme specifica, diversa dall'aria comune. Black la denominò *aria fissata* o *fissa* e ne descrisse le proprietà (in sostanza, Black aveva scoperto l'attuale anidride carbonica). Tale aria (CO_2) risultava coinvolta anche nelle trasformazioni della calce (carbonato di calcio, $CaCO_3$) in calce viva, o *quicklime* (ossido di calcio, CaO). Ciò cominciò a far sorgere il dubbio che l'aria, così come la si era intesa sino ad allora, potesse costituire realmente una sostanza di tipo primario

La scoperta di Black suscitò immediatamente le attenzioni dei medici e dei fisici sperimentali, che si dedicarono con un'attenzione inedita allo studio dell'aria e del suo comportamento. Inizialmente i chimici restarono in disparte, e non a caso. Lo studio dell'aria e delle sue proprietà, infatti, era un oggetto di competenza (è sufficiente guardare ai piani di studio universitari) dei professori di fisica sperimentale, non dei chimici. Nei decenni successivi vennero scoperte rapidamente molteplici *arie*. Ciò determinò la nascita di un nuovo filone di ricerca, la *chimica pneumatica*. Per i chimici della seconda metà del XVIII secolo, ovvero per coloro che operarono prima della rivoluzione chimica di Lavoisier, le nuove sostanze aeriformi non possedevano in alcun modo le caratteristiche che oggi la chimica contemporanea attribuisce ad esse. Infatti, per spiegare il comportamento delle diverse sostanze aeriformi vennero formulate innumerevoli teorie strutturate sull'esistenza del flogisto (ma non solo), che spesso andò a ricoprire una funzione ben diversa da quella che gli era stata originariamente attribuita da Stahl.

Intorno alla natura dell'aria fissa si aprì un'accesa controversia nella comunità scientifica dell'epoca. Una controversia nella quale si inserì anche un giovane chimico francese, Antoine-Laurent Lavoisier (1743 - 1794). Lavoisier ebbe una grande considerazione dell'opera di Stahl, al quale riconobbe il merito di essere stato tra i primi a tentare di riportare su di un terreno comune la teoria e la pratica chimica. A Lavoisier, infatti, non sfuggì l'importanza dell'approccio stahlian ai problemi della combustione e della calcinazione. La teoria di Stahl non soltanto offriva una spiegazione assai semplice e plausibile di questi processi, ma risultava anche in grado di conciliare dati empirici con una spiegazione teorica di carattere generale. Fu questa consapevolezza, unita alla propensione a trattare le questioni chimiche con metodi e strumenti puramente fi-

sici e matematici, che consentì a Lavoisier di sfruttare in modo rivoluzionario le nuove scoperte nel campo della chimica pneumatica. Una consapevolezza acquisita fin dal suo primissimo incontro con la chimica, nel 1761:

Quando ho cominciato per la prima volta a seguire un corso di chimica, benché il professore che avevo scelto passasse per il più chiaro e il più accessibile per i principianti, benché si preoccupasse moltissimo di farsi capire, fui sorpreso di vedere di quanti punti oscuri fossero circondati quei primi inizi della scienza. (...) Ero abituato a quel rigore razionale che i matematici mettono nelle loro opere; mai essi provano una proposizione prima che quella che la precede sia dimostrata; tutto è legato, collegato, dalla definizione del punto fino alle verità più sublimi della geometria trascendente. Nella chimica c'era un procedimento tutto diverso: sin dai primi passi si cominciava col supporre invece di dimostrare, si presentavano termini che non si sapevano ancora definire o al minimo, che si potevano definire solo coll'ausilio di nozioni che mi erano assolutamente estranee e che potevo acquisire soltanto con lo studio di tutta la chimica – si cominciava insomma ad insegnarmi la scienza con la supposizione che io la sapessi già.

Non molto tempo dopo Lavoisier dimostrò l'impossibilità della trasmutazione, tanto cara agli alchimisti:

Che due molecole di sostanze diverse si riuniscano insieme, che ne risulti un nuovo corpo diverso da ciò che era ciascuna separatamente, non c'è niente in questo che la fisica non ammetta e che non quadri con le esperienze note. Quando si combina infatti l'acido vetriolico con l'olio di tartaro ne risulta una massa concreta di tartaro vetriolico, benché le due sostanze entrate in combinazione fossero in partenza dei fluidi; ma che una massa d'acqua possa, senza addizione, senza perdita di sostanza, cambiarsi in una massa di terra, questo ripugna a qualsiasi idea accertata (corsivo dell'autore).

Era chiaro, per Lavoisier, che un cambiamento di stato di un dato corpo dovesse necessariamente risultare da una combinazione o separazione di almeno due sostanze diverse. Egli estese così le sue analisi agli altri due elementi della teoria aristotelica, l'aria ed il fuoco, giungendo ad analizzare quei processi di combustione e di calcinazione sui quali Stahl aveva costruito la teoria del flogisto. Consapevole che la questione dell'aria fissa fosse destinata a produrre degli effetti rivoluzionari sugli sviluppi della chimica, il 20 febbraio del 1773, egli annotò sul proprio registro di laboratorio un lucido piano di indagini sperimentali.

Per quanto numerose siano le esperienze dei Sig.ri Hales, Black, MacBride, Jacquin, Crantz, Priestley e de Smeth, intorno a questo argomento, occorre tuttavia che esse siano assai numerose per poter formare un corpo completo di teoria. È certo che l'aria fissa presenta fenomeni molto diversi rispetto all'aria ordinaria. In effetti, uccide gli animali che la respirano mentre quella ordinaria è essenzialmente necessaria alla loro conservazione. Si combina facilmente con tutti i corpi; mentre l'aria atmosferica, nelle stesse circostanze, si combina con difficoltà e forse non si combina per niente. Queste differenze saranno indicate in tutta la loro estensione, quando fornirò la storia di tut-

to ciò che è stato fatto sull'aria che si libera dai corpi e che vi si fissa. L'importanza dell'argomento mi ha indotto a riprendere tutto questo lavoro, che mi è sembrato in grado di provocare una rivoluzione in fisica e in chimica.

I primi risultati di questo programma videro la luce nel primo grande libro di Lavoisier, gli *Opuscules physiques et chimiques*, che apparvero a Parigi nel dicembre 1773, pur recando la data gennaio 1774. Lavoisier, tuttavia, non aveva ancora compreso la differenza tra l'aria che si fissava, ad esempio, nei carbonati e quella che aveva a che fare con l'aumento di peso delle calci metalliche. Ma la soluzione al problema non sarebbe tardata ad arrivare.

Riferimenti bibliografici

FERDINANDO ABBRI, *La chimica del '700*, Loescher, Torino, 1978.

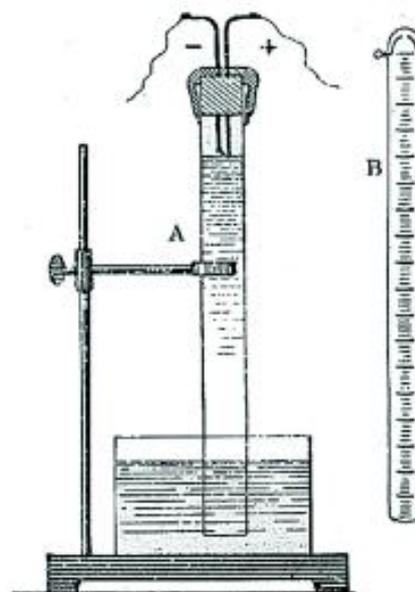
MARCO CIARDI, *Breve storia delle teorie della materia*, Carocci, Roma, 2003.

ANTOINE-LAURENT LAVOISIER, *Opuscoli fisici e chimici*, a cura di Marco Ciardi e Marco Taddia, Bononia University Press, Bologna, 2005.

ISAAC NEWTON, *Opere*, 2 voll., UTET, Torino, 1977-78. I: *Principi matematici della filosofia naturale*; II: *Scritti di ottica*.

PARACELSO, *Paragrano*, a cura di Ferruccio Masini, Laterza, Roma-Bari, 1973.

SIMONE STRATICO, *De' fluidi elastici permanenti. Storia di un manoscritto attribuito ad Alessandro Volta*, a cura di Marco Ciardi e Franco Giudice, Hoepli, Milano, 2001.



Instrument appelé eudiomètre

CHIMICA E BIOLOGIA MOLECOLARE: due facce della stessa medaglia – Parte I¹

“Se volete conoscere l’ingegneria genetica, dovete essere pronti a spendere anni studiando la chimica e la biologia. Nulla di prezioso arriva senza impegno.”

ALESSANDRA BARBIN*

(Kary Mullis)

Premessa

In genere la prassi seguita per il tirocinio didattico attivo nelle SSIS consiste nell’affidare alla/o specializzanda/o un tema da sviluppare sul piano teorico-sperimentale e su questo progettare un percorso didattico significativo raccordandolo il più possibile al curriculum programmato dal docente accogliente (tutor). Nel momento del suo sviluppo ritenuto più opportuno la/lo specializzanda/o lo propone agli allievi della classe per cui è stato progettato e successivamente fa un bilancio critico dell’esperienza complessiva. Il lavoro che viene presentato propone una modalità di effettuazione del tirocinio didattico inusuale in cui, cioè, la specializzanda, insieme agli allievi di una classe del docente accogliente (tutor), una IV Liceo scientifico, ha seguito un percorso messo a punto dall’Università e realizzato fuori della classe, in un laboratorio di biologia molecolare (LLC di Bologna). E’ su questo che si sono articolate le varie attività sia preparatorie, sia di riflessione proposta alla classe successivamente all’esperienza. Quello che qui presentiamo è il primo di tre contributi di cui consta questo lavoro.

Fabio Olmi

Riassunto

Un processo di apprendimento efficace si struttura a partire dall’osservazione e dall’esperienza diretta dei fenomeni indagati. Dare fondamento teorico a tale esperienza è il passaggio successivo e questo non può prescindere dal riferimento e dalla conseguente costruzione di un sapere il più possibile unitario. La ricerca di percorsi trasversali si pone quindi come momento indispensabile nella programmazione e nella realizzazione di qualsiasi proposta didattica.

È a partire da questo presupposto che ha preso avvio il progetto educativo di seguito presentato, finalizzato alla ricerca di un percorso interdisciplinare che collegasse argomenti di chimica e biologia molecolare, principalmente allo scopo di dimostrare che la conoscenza della prima è indispensabile per comprendere e interpretare i fenomeni della seconda.

Abstract

A process of effective learning starts from the observation and the direct experience of phenomena under investigation. Then we give a rationale basis to this experience that must consider all knowledgeable elements as a unified whole. The interdisciplinary research process is therefore one of the most important ways to program and to realize the didactic proposal.

Starting from this point we began our educational experiment herein described. This experiment delineates an interdisciplinary method by means of which subjects such as chemistry and molecular biology are linked, so that the former is indispensable to understand and to interpret the phenomena of the latter.

Introduzione

Nel presente lavoro, costituito da una serie di tre contributi, si è inteso descrivere un percorso didattico realizzato con una classe quarta “tradizionale” del Liceo Scientifico Statale ‘A. Righi’ di Bologna.

Il progetto è stato costruito a partire dalla partecipazione degli studenti a un percorso formativo, della durata di due giorni, tenutosi nella sede del *Life Learning Center* (LLC) di Bologna. Questa struttura, nata nel 2000 dalla collaborazione tra Università, Provveditorato agli Studi e Fondazione “Marino Golinelli”, ha lo scopo di avvicinare i giovani alle scienze della Vita.

Le attività svolte hanno avuto la presente scansione:

- una fase preparatoria preliminare curata dall’insegnante in classe
- lo *stage* presso il LLC che ha visto il singolo studente protagonista del proprio apprendimento teorico-pratico in quanto chiamato a operare manualmente nell’effettuazione di semplici esperimenti di biologia molecolare
- un successivo lavoro di gruppo in classe con la finalità di riflettere sulle attività svolte e di organizzare in una relazione i dati, le osservazioni e i risultati raggiunti
- una serie di lezioni di approfondimento di cui questo e i successivi articoli sono la descrizione.

¹ Il lavoro è tratto da una tesi di specializzazione svolta nell’ambito della SSIS-Bologna, indirizzo Scienze Naturali, classe A060: “La chimica di base per comprendere la struttura e le proprietà di molecole complesse: le proteine” di Alessandra Barbin, a.a. 2003/2004.

Preme qui ricordare che una delle idee guida del presente lavoro è stata la ricerca di percorsi trasversali che collegassero argomenti di chimica e biologia, principalmente allo scopo di dimostrare che la conoscenza della prima è indispensabile per comprendere e interpretare i fenomeni della seconda (Kary Mullis, 2004), al di là della pura descrizione degli stessi. Si ritiene, infatti, che questo modo di procedere possa costituire un valido incentivo verso lo studio della chimica, nei confronti della quale spesso gli studenti nutrono diffidenza se non veri e propri pregiudizi.

In questo primo contributo vengono descritti gli esperimenti che hanno consentito di biosintetizzare la proteina verde fluorescente GFP (*Green Fluorescent Protein*) e, successivamente, di isolarla e purificarla mediante procedimenti chimico-fisici.

Premessa metodologico-didattica

Come già accennato, il presente lavoro nasce in seguito all'esperienza condotta dagli studenti della IV A nel laboratorio di biologia molecolare del LLC.

Gli intenti che ne stanno alla base sono molteplici:

a) dare fondamento teorico alle operazioni pratiche di laboratorio in modo da collegare i fatti osservati con i prerequisiti di conoscenza e con quanto appreso al momento dell'esperienza;

b) elaborare, soprattutto in riferimento alla proteina GFP (*Green Fluorescent Protein*), un percorso trasversale di collegamento tra biologia e chimica, quest'ultima intesa e presentata agli studenti come strumento indispensabile per l'interpretazione corretta dei fenomeni esaminati;

c) educare alla razionalità in un campo quale è quello degli OGM (Organismi Geneticamente Modificati) ove sono frequenti le mistificazioni e le forzature ideologiche, indicando agli studenti come si possa agire e ragionare anche in un settore così complesso della biologia secondo il metodo scientifico, togliendo quell'alone di magico e misterioso, a volte persino angustiante, che il grande pubblico associa a tutto ciò che non riesce a razionalizzare.

Lo scopo specifico dell'autrice del presente lavoro è stato quello di descrivere in modo analitico le esperienze effettuate dagli studenti durante lo *stage* al LLC² che hanno avuto per oggetto:

- 1) Trasformazione batterica
- 2) Purificazione della proteina GFP (*Green Fluorescent Protein*)
- 3) DNA fingerprinting

Il progetto didattico si è sviluppato a partire dall'analisi dei primi due di questi esperimenti, per i quali si riportano di seguito le schede illustrative delle attività svolte dagli studenti in laboratorio.

SCHEDA 1

Trasformazione batterica

Materiali e strumenti

- . Provette eppendorf
- . Micropipette da 10, 100 e 1000 μ l
- . Cellule batteriche competenti: *E. coli* K-12 ceppo HB101
- . Plasmide pGLO
- . Soluzione di trasformazione (TS) costituita da CaCl_2
- . Bagno termostato a 42 °C
- . Incubatore a 37 °C
- . Terreno di coltura liquido Luria-Bertani (LB)
- . Terreni di coltura agarizzati :
LB (LB)
LB + ampicillina (LB/amp)
LB + ampicillina + arabinosio (LB/amp/ara)
- . Piastre Petri suddivise in quattro settori
- . Transilluminatore o lampada UV

Tappe dell'esecuzione

- Contrassegnare due provette eppendorf con i simboli + e - (rispettivamente campione "effettivo" e campione di controllo)
- Aggiungere in entrambe le provette eppendorf contrassegnate la sospensione acquosa in CaCl_2 di cellule batteriche competenti e porle in ghiaccio.
- Solo all'interno dell'eppendorf + aggiungere la soluzione contenente il plasmide pGLO e rimettere in bagno di ghiaccio.
- Attendere 10 minuti.
- Effettuare il passaggio di shock termico: trasferire velocemente entrambe le eppendorf dal ghiaccio al bagno termostato, precedentemente tarato e portato a 42 °C, ove devono rimanere per 90 secondi. Questo trattamento permette al plasmide pGLO di attraversare la membrana cellulare e di entrare nei batteri. Rimettere quindi le eppendorf nel bagno di ghiaccio per 2 minuti.
- Aggiungere il brodo di coltura LB in entrambe le eppendorf e porle per 30 minuti in incubatore. Questo passaggio consente di aumentare il numero complessivo di batteri contenuti nelle due provette.
- Seminare il contenuto delle due eppendorf nei quattro settori [I(-), II(-), III(+), IV(+)] in cui è suddivisa la piastra Petri, contenenti, rispettivamente, i terreni selettivi LB, LB/amp, LB/amp, LB/amp/ara.
- Attendere che il liquido distribuito sull'agar della piastra sia assorbito, quindi porre quest'ultima in incubatore a 37 °C per l'intera notte.
- La mattina seguente osservare la piastra Petri al transilluminatore.

² Per informazioni in merito si consulti il sito internet ufficiale del Life Learning Center: <http://www.llc.it>

SCHEDA 2

Purificazione della GFP

Materiali e strumenti

- Provette eppendorf
- Micropipette da 10, 100 e 1000 μ l
- Batteri *E. coli* K-12 ceppo HB101 trasformati con il plasmide pGLO
- Lisozima
- Vortex
- Incubatore a 37 °C
- Centrifuga da banco
- Colonna cromatografica
- Resina ad interazione idrofobica
- Tampone di interazione (TI: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 4 M), soluzione ad altissima concentrazione salina
- Soluzione di equilibratura (SE: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2 M), soluzione ad alta concentrazione salina
- Tampone di lavaggio (TL: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1,3 M), soluzione a media concentrazione salina
- Tampone di eluizione (TE: Tris + EDTA 0,1 M), soluzione a bassissima concentrazione salina
- Supporto multi-eppendorf
- Transilluminatore o lampada UV

Tappe dell'esecuzione

- Mediante l'uso del vortex risospendere le cellule batteriche, precedentemente trasformate e concentrate, nella soluzione TE.
- Aggiungere sul fondo della provetta eppendorf contenente i batteri risospesi l'enzima lisozima che comincerà subito a digerire le pareti cellulari batteriche.
- Agitare gentilmente la provetta al fine di distribuire uniformemente l'enzima in tutto il volume della sospensione.
- Porre l'eppendorf nell'incubatore a 37 °C per 10 minuti in modo da consentire al lisozima di agire.
- Centrifugare la provetta.
- Equilibrare la colonna cromatografica precedentemente impaccata con resina di silice introducendo in essa la soluzione SE e facendola correre lungo la parete della colonna per non perturbare la superficie della resina; quindi togliere il tappo di chiusura della colonna e fare eluire il liquido di mantenimento della resina in una provetta di scarto.
- Al termine della centrifugazione il surnatante contenente in soluzione la proteina GFP (facendo attenzione a non asportare frammenti di pellet) e trasferirlo in un'eppendorf, precedentemente contrassegnata con la sigla TI, recante un pari volume di questa soluzione.
- Prelevare dall'eppendorf TI, dopo averla agitata delicatamente, la soluzione contenuta (tampone di interazione + surnatante) e versarla nella colonna con la stessa metodica descritta sopra.
- Filtrare questo volume all'interno della matrice cromatografica e raccogliere l'eluato nella provetta di scarto. In questo passaggio le proteine con caratteristiche superficiali idrofobiche, tra cui la GFP, si fissano alla resina grazie all'instaurarsi di interazioni idrofobiche, mentre quelle con proprietà idrofiliche eluiscono fuori dalla colonna stessa.
- Prelevare un'adeguata quantità di TL, caricarlo in colonna e far fluire l'intero volume all'interno della matrice raccogliendo l'eluato nella provetta di scarto. Questo passaggio ha la funzione di "lavare via" dalla resina le proteine debolmente idrofobiche, ma non la GFP che, rimanendo legata alla resina, risulta in tal modo purificata.
- Trasferire la colonna cromatografica nel supporto multi-eppendorf.
- Prelevare un sufficiente volume di TE e introdurlo all'interno della colonna con la metodica già utilizzata.
- Filtrare l'intero volume di TE e, contemporaneamente, far cadere in successione 1 sola goccia di eluato in ciascuna delle 8 eppendorf presenti nel supporto multi-eppendorf; l'eventuale eluato in eccesso viene raccolto nell'ultima eppendorf.
- Esaminare i sottocampioni alla lampada UV o al transilluminatore.

Tuttavia, non è stata qui presa in considerazione la terza esperienza, poiché non collegata direttamente al percorso svolto, sebbene la classe abbia comunque manifestato un elevato interesse in merito alle procedure di analisi del DNA sia in ambito forense sia nella terapia genica: argomenti di estrema attualità oltre che di grande interesse

etico-sociale.

Tutte e tre le esperienze, peraltro effettuate a fini puramente didattici, hanno avuto lo scopo di mostrare ai ragazzi le conoscenze e le competenze, sia disciplinari sia pratiche, che sono alla base delle metodiche utilizzate, mettendone in risalto gli aspetti biochimici e tecnologici.

1) Trasformazione batterica

a) Realizzazione dell'esperienza

L'obiettivo dell'esperienza è stato quello di effettuare una trasformazione batterica² di *Escherichia coli* mediante il plasmide ricombinante pGLO.

I batteri *E. coli* utilizzati nell'esperimento appartenevano al ceppo mutante innocuo *K12*, che, oltre ad essere privo di plasmidi endogeni, non presenta i recettori di membrana specifici per avviare il processo di trasformazione. In primo luogo, è stato quindi necessario rendere competenti i batteri in questione mediante esposizione ad una soluzione di CaCl_2 .

Anche se il meccanismo d'azione del cloruro di calcio è tuttora poco noto, recentemente alcuni studiosi hanno ipotizzato una sua azione diretta sui canali del calcio. Queste proteine transmembrana, posizionate a livello della membrana plasmatica del batterio, in presenza di CaCl_2 sarebbero indotte ad aprirsi: la loro specifica funzione è infatti quella di trasferire gli ioni Ca^{2+} all'interno della cellula. Nel caso della trasformazione batterica questi canali verrebbero invece sfruttati come "aperture" transmembrana atte a consentire al plasmide di entrare nel batterio, trasformandolo. Il meccanismo di trasporto del plasmide attraverso il canale è anch'esso sconosciuto: si può trattare di un simporto Ca^{2+} -plasmide (di carica superficiale negativa), di un antiporto plasmide-ione negativo (ad esempio Cl^-) o di un altro meccanismo ancora.

Poiché a temperatura ambiente tali canali tenderebbero a richiudersi velocemente, riducendo così la competenza della cellula, i batteri sono stati rapidamente congelati alla temperatura di -80°C . A questa temperatura, infatti, le proteine canale aperte rimangono tali poiché il metabolismo batterico risulta bloccato in modo pressoché totale, consentendo tra l'altro al batterio di entrare in uno stato vitale latente.

In realtà, questa prima parte dell'esperimento è stata svolta dal personale tecnico del LLC che ha quindi fornito ai ragazzi una sospensione acquosa congelata di cloruro di calcio contenente cellule di *E. coli* già rese competenti. Il passaggio successivo ha visto l'aggiunta del DNA plasmidico ricombinante (plasmide pGLO: Figura 1, Scheda 3) alla sospensione batterica data. Questo presenta 4 sequenze geniche importanti:

- l'origine di replicazione (*ori*),
- un gene (*bla*) codificante per una proteina (beta lattamasi) che conferisce resistenza all'antibiotico ampicillina,
- un gene regolatore (*araC*) che codifica per una proteina (proteina C) repressore della trascrizione,
- un gene strutturale esogeno (*GFP*) codificante per la proteina GFP (*Green Fluorescent Protein*), isolata dalla medusa tropicale *Aequorea victoria*.

Al fine di fare oltrepassare al plasmide la membrana plasmatica di *E. coli* si è reso inoltre indispensabile sottoporre i batteri a shock termico. Tale procedura ha permesso di aumentare la permeabilità della membrana della cellula batterica e quindi la probabilità d'introduzione del DNA plasmidico.

Considerando che *E. coli* è in grado di duplicarsi ogni 20 minuti circa e che durante lo shock termico una percentuale non trascurabile di batteri è deceduta, questi sono stati posti in cella termostatica a 37°C al fine di raddoppiarne il numero. Poiché il processo di duplicazione è energeticamente molto costoso, è stato necessario som-

ministrare ai batteri tale energia sotto forma di "cibo" (brodo di coltura): quest'ultimo fornisce infatti una miscela di carboidrati, amminoacidi, nucleotidi, sali minerali e vitamine indispensabili per la crescita batterica. Inoltre, il periodo di incubazione ha consentito alle cellule trasformate di esprimere la proteina della resistenza all'ampicillina, la cui sintesi costituisce l'unica possibilità di sopravvivenza su terreno selettivo. Così, potendo contare su un maggior numero di batteri, e in particolar modo di quelli trasformati, sono state aumentate le probabilità di formazione di colonie nella successiva fase di semina nelle piastre Petri. Le piastre Petri utilizzate erano suddivise in quattro settori distinti. Ciascuno di essi presentava il medesimo supporto solido di agar; a variare erano invece le sostanze aggiunte all'agar stesso:

settore I → solo brodo di coltura (LB, dalle iniziali degli scienziati Luria e Bertani)

settore II → brodo di coltura + antibiotico ampicillina

settore III → brodo di coltura + antibiotico ampicillina

settore IV → brodo di coltura + antibiotico ampicillina + zucchero arabinosio

Il brodo di coltura è presente in tutti i settori poiché, come già detto, fornisce i nutrienti indispensabili per la crescita batterica.

b) Risultati

Nei settori I e II sono stati seminati i batteri non trasformati (-) o di controllo, mentre nei settori III e IV sono state seminate le cellule batteriche sottoposte a trasformazione (+) in seguito all'aggiunta del plasmide. Mentre la presenza dell'antibiotico ampicillina ha consentito di selezionare le cellule trasformate con il DNA plasmidico da quelle non trasformate, la presenza dello zucchero arabinosio ha permesso di distinguere, tra i batteri trasformati, quelli che avevano sintetizzato la proteina verde fluorescente GFP. Infatti, l'aspetto fenotipico osservabile in seguito alla trasformazione consiste nell'emissione di una luce verde fluorescente da parte delle colonie di cellule batteriche trasformate quando queste vengono sottoposte a radiazioni UV.

La successiva incubazione per tutta la notte a 37°C delle piastre seminate ha consentito ai batteri di duplicarsi in grande quantità nelle condizioni ambientali ottimali.

La verifica dell'avvenuta trasformazione è stata effettuata la mattina successiva. Le cellule batteriche trasformate (+) seminate nei settori III e IV, contenenti i substrati selettivi LB/amp e LB/amp/ara, hanno mostrato una crescita cellulare evidente (formazione di colonie) a conferma del fatto che solo l'acquisizione del plasmide pGLO permette loro di resistere all'azione battericida dell'antibiotico ampicillina presente nel mezzo di coltura, consentendone di conseguenza la proliferazione. Inoltre, riprova dell'incorporazione del plasmide è stata data anche dall'osservazione al transilluminatore delle colonie del settore IV. Solo queste, infatti, grazie proprio all'internalizzazione del plasmide e alla presenza di arabinosio nel terreno di coltura, mostravano il fenomeno della fluorescenza quando esposte a radiazioni UV. Ciò ad ulteriore conferma del ruolo centrale dell'arabinosio come induttore del meccanismo molecolare che controlla la sintesi della GFP, unica e vera responsabile della fluorescenza verde osservata.

Infine, per quanto concerne la semina nei settori I e II del campione di controllo (-), essa è servita per verificare l'effettiva vitalità dei batteri (settore I) e la loro condizione di cellule non trasformate (settore II).

³ I termini sottolineati rimandano alla *SCHEDA 3* ove vengono riportati ulteriori approfondimenti.

SCHEDA 3

Parole e concetti Chiave

• Con il termine **trasformazione batterica** si intende un processo che si realizza quando una cellula batterica incorpora ed esprime un frammento di materiale genetico esogeno, contenente uno o più geni, che comporta una modificazione stabile dei tratti dell'organismo stesso (fenotipo). I **geni esogeni** utilizzati nelle trasformazioni possono essere prelevati da DNA umano, animale o vegetale per essere poi immessi nelle cellule batteriche.

Tale processo, che in natura si verifica in misura minima, ha trovato largo utilizzo in diversi settori delle biotecnologie: dal biorisanamento, alla terapia genica, all'industria farmaceutica.

In agricoltura, ad esempio, possono essere immessi nelle piante geni codificanti per caratteristiche quali la resistenza al gelo, agli insetti e alla siccità.

Nel biorisanamento, i batteri possono essere geneticamente trasformati con geni che permettono loro di digerire, e quindi eliminare dall'ambiente, sostanze inquinanti immesse quali, ad esempio, idrocarburi.

In medicina, malattie causate da geni difettosi potranno essere trattate (almeno questa è la speranza) mediante terapia genica, ossia trasformando geneticamente con copie sane del gene portatore della patologia le cellule delle persone malate.

Un esempio tipico dell'utilizzo delle biotecnologie in ambito medico è quello relativo al gene umano codificante per l'ormone insulina. Sino a pochi decenni fa l'insulina utilizzata nel trattamento del diabete di tipo I (malattia genetica in cui il gene codificante per l'ormone insulina è difettoso) veniva estratta dal pancreas di bovini o suini. L'estratto proteico così ottenuto veniva poi purificato in modo da isolare insulina pura. In realtà, però, la purificazione non permetteva una completa eliminazione dall'estratto delle altre proteine pancreatiche che, somministrate insieme all'ormone, potevano indurre nei pazienti problemi allergici o risposte immunitarie ancor più pericolose. Inoltre, il processo di purificazione richiesto era molto costoso. Oggi, fortunatamente, si può ovviare a questi inconvenienti facendo produrre insulina umana, tra l'altro in grosse quantità, a batteri trasformati con il gene umano. Un altro esempio, analogo al precedente, è quello relativo al gene umano codificante per l'ormone della crescita (GH). Gli individui incapaci di sintetizzare questo ormone sono affetti da nanismo ipofisario, ossia da un ridotto, ma tuttavia armonico, sviluppo della struttura ossea. In passato tale ormone veniva prelevato esclusivamente dall'ipofisi di cadaveri umani e, ovviamente, la quantità ricavabile per questa via non soddisfaceva l'elevata richiesta. Oggi si possono ottenere grandi quantità dell'ormone della crescita trasformando con il gene sano specifici ceppi batterici.

• I **batteri *Escherichia coli*** utilizzati nell'esperimento appartenevano al ceppo mutante innocuo *K12*, che è privo di plasmidi. Questa specie batterica contiene un unico cromosoma di circa 4640 Kbp (bp = paio di basi) e presenta pili o fimbrie per aderire al substrato. In natura *E. coli* vive solitamente nell'intestino dei mammiferi come simbionte o, talvolta, come parassita (nell'intestino o nella vescica urinaria).

• Solitamente, la **competenza** di una cellula batterica alla trasformazione è data dalla presenza su questa di appositi recettori di membrana (codificati da uno specifico gene batterico), che consentono l'acquisizione del plasmide attraverso un processo simile all'endocitosi mediata da recettori.

In assenza di tali recettori, l'introduzione del DNA esogeno (solitamente plasmidico) nella cellula batterica è promossa da una temporanea alterazione dell'integrità della membrana cellulare. Ciò si può ottenere mediante l'utilizzo di specifiche sostanze chimiche, quali ad esempio CaCl_2 , in associazione a sbalzi repentini di temperatura (shock termico) o a scariche elettriche ad alto voltaggio (elettroporazione). Il risultato è quello di ottenere cellule batteriche competenti, ossia in condizioni tali da poter essere trasformate.

In passato si riteneva che gli ioni calcio positivi (Ca^{2+}) presenti in soluzione facilitassero l'entrata del plasmide nella cellula batterica mediante la neutralizzazione delle cariche negative (determinate dalla presenza di gruppi fosfato PO_4^{3-}) sulla superficie sia del batterio sia del plasmide. Oggi, sebbene tale ipotesi continui ad essere accettata, si ritiene che gli ioni Ca^{2+} , oltre ad aprire i canali di trasporto specifici, indeboliscano i legami tra alcuni costituenti della parete cellulare, determinando un aumento di fluidità del doppio strato lipidico e agevolando, in tal modo, l'entrata del plasmide.

• In aggiunta ad un grande cromosoma, i batteri in natura contengono uno o più piccoli pezzi di DNA circolari in grado di autoreplicarsi detti **plasmidi**. Il DNA plasmidico solitamente porta geni per una o più caratteristiche che possono risultare positive per la sopravvivenza della cellula batterica. In natura i batteri sono in grado di trasferirsi reciprocamente queste informazioni e ciò permette loro di adattarsi al meglio all'ambiente in cui vivono e alle sue eventuali modificazioni.

La presenza sempre maggiore di ceppi batterici resistenti agli antibiotici è dovuta proprio alla trasmissione, tra questi, di plasmidi e delle informazioni in essi contenute.

Con il termine **plasmide ricombinante** si intende una molecola di DNA circolare (assemblata o modificata in laboratorio) capace di replicazione autonoma. Essa presenta di solito uno o più geni codificanti per proteine che possono risultare positive per la sopravvivenza della cellula batterica ricevente (come, ad esempio, proteine che conferiscono resistenza a specifici antibiotici) e un gene estraneo. Nel caso specifico dell'esperimento effettuato, il plasmide ricombinante utilizzato per la trasformazione è il **plasmide pGLO** (5400 bp).

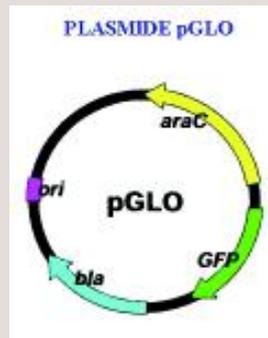


Figura 1

Esso contiene 4 sequenze geniche importanti:

ori → origine di replicazione del plasmide;

bla → gene che codifica per la proteina beta-lattamasi;

araC → gene regolatore che codifica per la proteina C repressore dell'operone arabinosio;

GFP → gene strutturale che codifica per la proteina verde fluorescente (GFP).

La beta-lattamasi è una proteina che fornisce resistenza all'antibiotico ampicillina. Questa proteina, una volta prodotta a livello del citoplasma batterico, viene secreta dal batterio trasformato nell'ambiente circostante, ove inattiva l'antibiotico ampicillina (se presente).

Solo i batteri trasformati, che contengono il plasmide e che quindi possono esprimere la beta-lattamasi, sono in grado di sopravvivere in un mezzo di coltura contenente ampicillina. Tuttavia, soltanto una percentuale molto piccola di cellule batteriche riesce ad acquisire il DNA plasmidico e a trasformarsi (si veda oltre).

Il gene *GFP* è stato originariamente isolato dalla medusa bioluminescente *Aequorea victoria*. Tale gene codifica per la *Green Fluorescent Protein* (proteina verde fluorescente) che rende la medusa fluorescente e visibile al buio.

In seguito alla procedura di trasformazione, i batteri esprimono il nuovo gene acquisito e producono la proteina GFP che li rende luminescenti, di un color verde brillante, sotto radiazione ultravioletta (UV).

È infatti la conformazione tridimensionale di questa proteina che la porta, quando esposta a radiazioni UV, ad emettere l'energia assorbita sotto forma di luce verde visibile.

Il gene *araC* fa parte dell'**operone arabinosio**.

L'**operone** è una sequenza di DNA deputata al controllo della sintesi di RNA messaggero e contiene l'informazione per la produzione di diverse proteine. Esso è costituito da uno o più geni strutturali adiacenti, una zona di regolazione, un operatore e un promotore.

In natura l'**operone arabinosio** presiede alla regolazione della sintesi di tre enzimi digestivi (codificati dai geni adiacenti *araB*, *araA*, *araD*) coinvolti nel metabolismo dell'arabinosio, zucchero utilizzato dai batteri come sostanza nutriente.

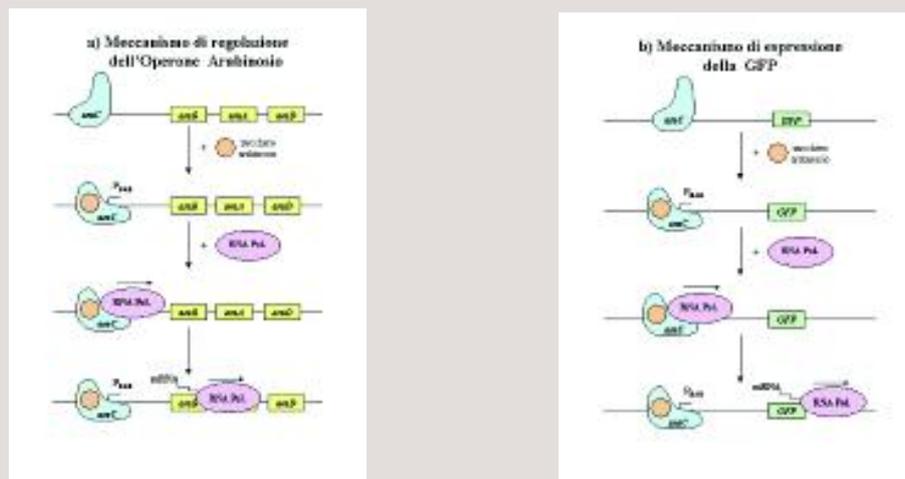


Figura 2

In assenza di arabinosio la proteina C repressore (codificata dal gene *araC*) si lega all'operatore dell'operone impedendo l'attacco della RNA polimerasi al filamento di DNA e, di conseguenza, la trascrizione dei geni strutturali (*araB*, *araA*, *araD*). In presenza di arabinosio, invece, una molecola di zucchero si lega alla proteina C repressore che, modificando la propria struttura tridimensionale, promuove il legame della RNA polimerasi al promotore (P_{BAD}) e avvia la trascrizione.

Nel plasmide pGLO è presente un operone arabinosio modificato: i tre geni strutturali *araB*, *araA* e *araD* sono stati tolti e sostituiti

con il gene della GFP. In tal modo lo stesso meccanismo di regolazione genica può essere utilizzato per controllare l'espressione della proteina GFP nelle cellule trasformate: la trascrizione e la traduzione della proteina verde fluorescente risultano regolati dalla presenza o meno, nel mezzo di coltura, dello zucchero arabinosio.

• Lo **shock termico** consiste nel sottoporre le cellule a due rapidi e successivi cambiamenti di temperatura: $0\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 42\text{ }^{\circ}\text{C}$, $42\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Anche se il meccanismo con cui ciò si verifica non è completamente noto, si ipotizza che durante i 90 secondi di permanenza a $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ tale temperatura induca una parziale denaturazione delle proteine canale del calcio. In seguito alla modificazione della loro struttura tridimensionale (il diametro del canale si dilaterebbe), queste proteine sarebbero in grado di far passare il plasmide. L'aumentata fluidità del doppio strato fosfolipidico di membrana (determinata anch'essa dall'aumento di temperatura) sembrerebbe agevolare il processo.

Il ritorno a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e la permanenza a questa temperatura per i 2 minuti successivi indurrebbero la rinaturazione delle proteine canale che, riacquistata la propria struttura tridimensionale e, di conseguenza, la propria funzionalità, tenderebbero a richiudersi. Il plasmide ha quindi a disposizione un tempo brevissimo per entrare in *E. coli*: solo i 90 secondi di permanenza nel bagno termostato a $42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Come sopra riportato, soltanto una percentuale molto piccola di cellule batteriche riesce ad acquisire il DNA plasmidico e a trasformarsi: la massima efficienza teorica di trasformazione (ossia la percentuale massima di batteri trasformati in rapporto al loro numero iniziale) è pari al 50%. In realtà, l'efficienza di trasformazione effettiva è molto più bassa: nel nostro caso era dell'ordine del 10%. Ciò dipende da diversi fattori che devono essere contemporaneamente soddisfatti:

a) il caso.

Il plasmide ha una probabilità del 50% di entrare e una uguale probabilità di non entrare.

b) la temperatura di trasformazione ($42\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Questa deve essere abbastanza alta (rispetto alla temperatura ottimale di vita di *E. coli*: $37\text{ }^{\circ}\text{C}$) per indurre l'apertura dei canali del calcio, ma, nello stesso tempo, non troppo alta per evitare di uccidere i batteri.

c) il tempo di trasformazione (90 secondi).

Esso deve essere abbastanza lungo da permettere al plasmide di incontrare il batterio (evento del tutto casuale posto che non vi è nulla che attiri il plasmide verso il batterio o viceversa) e di entrarvi, ma non troppo lungo per evitare di uccidere i batteri (l'eccessiva permanenza a $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ fa sì che attraverso le proteine canale, mantenute aperte dall'alta temperatura, entri una certa quantità di soluzione acquosa oltre al plasmide; questo porta ad un graduale rigonfiamento e successiva lisi delle cellule batteriche).

d) la modalità di incontro tra plasmide e superficie batterica.

È necessario che l'incontro sia "efficace", ossia il plasmide può entrare solo se incontra la membrana a livello di una proteina canale aperta.

• Con **terreno di coltura selettivo** si intende un mezzo di coltura in cui si agevola lo sviluppo dei batteri che presentano determinate caratteristiche rispetto agli altri che ne sono privi. I primi risultano così selezionati rispetto ai secondi.

• L'**agar** è una sostanza polimerica naturale a basso peso molecolare (contenuta nelle alghe marine) che ha la proprietà di sciogliersi in un mezzo acquoso quando scaldata e di formare un gel solido quando raffreddata a temperatura ambiente. La principale funzione dell'agar è quella di fornire un supporto solido su cui seminare e coltivare i batteri.

A ben guardare, anche il fondo di plastica della piastra Petri può costituire un supporto solido per le cellule; allora perché utilizzare l'agar? La risposta è semplice: le cellule batteriche per vivere e moltiplicarsi hanno bisogno di grandi quantità di nutrienti che non possono estrarre dalla plastica della piastra. Al contrario, quando l'agar è allo stato liquido, ad esso possono essere aggiunte sostanze diverse (nutrienti, antibiotici, ecc.) che risultano poi facilmente assimilabili dai batteri quando l'agar si è solidificato.

• In qualsiasi esperimento di laboratorio è buona norma disporre di un **campione di controllo**. Questo è un campione uguale agli altri, che subisce gli stessi procedimenti a cui gli altri verranno sottoposti tranne uno, solitamente il passaggio fondamentale dell'esperienza. In tal modo, se alla fine dell'esperimento si riscontrano differenti risposte tra il campione di controllo e i campioni "effettivi", queste differenze saranno imputabili al passaggio della metodica sperimentale che i secondi, a differenza del primo, hanno subito.

2) Purificazione della proteina GFP

a) **Realizzazione dell'esperienza**

Lo scopo dell'esperienza è stato quello di estrarre e purificare la proteina verde fluorescente (GFP) da un campione di cellule batteriche (*E. coli*) precedentemente trasformate con il plasmide ricombinante pGLO.

Ciascun batterio trasformato può essere considerato come una sorta di piccola "industria chimica" vivente: esso è in grado di fornire, in tempi relativamente brevi, quantità rilevanti di un "prodotto" (la proteina GFP, ad esempio, oppure l'insulina o l'ormone della crescita GH), seguendo le "indicazioni di produzione" contenute nel materiale genetico esogeno fornitogli (plasmide). I passaggi successivi prevedono l'estrazione, la separazione e la purificazione della proteina d'interesse che può poi trovare largo impiego in ambito medico, farmacologico, agroalimentare o industriale.

Le tecniche cromatografiche, che consentono di isolare e purificare specifiche proteine a partire da una miscela proteica complessa, si fondano sull'utilizzo delle conoscenze chimico-fisiche (massa molare, solubilità, cariche elettriche) raccolte nel corso degli anni relativamente alla sostanza d'interesse.

In riferimento alla presente esperienza, gli studenti hanno iniziato questa seconda attività di laboratorio lisando le cellule di *E. coli* precedentemente trasformate e contenenti la proteina GFP, sintetizzata in seguito a coltura in un terreno liquido contenente arabinosio.

In primo luogo, le cellule batteriche, trasformate dai tecnici del laboratorio e conservate in freezer alla temperatura di $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, sono state risospese in un tampone (TE) a bassissima concentrazione salina, al fine di creare attorno ad esse un ambiente acquoso utile per le fasi successive.

SCHEDA 4

Parole e concetti chiave

• Con **soluzione tampone** o miscela tamponata si intende una soluzione acquosa di uno o più sali, a concentrazione nota, che conferiscono alla soluzione stessa un pH pressochè costante e specifiche caratteristiche. In generale, serve per creare l'ambiente ideale di reazione.

Tris (acido etilendiamminotetracetico sale disodico) → ha la funzione di stabilizzare il pH della miscela attorno a 8-9 (pH basico), valore ideale per la stabilità della proteina GFP.

EDTA → è un chelante di cationi bivalenti (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}); nel caso specifico di questo esperimento sembra contribuire a mantenere bassa la salinità all'interno della colonna cromatografica sequestrando i cationi metallici.

• Il **lisozima** (scoperto da Fleming nel 1922) è un enzima che ha la proprietà di lisare alcuni tipi di batteri poiché è in grado di rompere la componente polisaccaridica della loro parete cellulare.

Il polisaccaride costituente la parete batterica è un polimero formato da due residui saccaridici, la N-acetilglucosamina (NAG) e l'acido N-acetilmuramico (NAM), uniti tra loro da legami glicosidici $\beta(1 > 4)$. Il lisozima, una glicosilasi, agisce idrolizzando esclusivamente il legame glicosidico tra il C-1 del NAM e il C-4 del NAG. In tal modo, la parete cellulare batterica viene frantumata e il batterio privato di questa componente cellulare finisce per scoppiare a causa dell'elevata pressione intracellulare.

Il lisozima si trova in natura come componente delle lacrime e della saliva ove assolve alla sua funzione battericida.

• La **centrifugazione** è una tecnica che consente di separare molecole diverse sulla base del loro differente peso molecolare, sfruttando una rotazione ad alta velocità.

Al termine della centrifugazione di un campione, sul fondo dell'eppendorf si osserva il cosiddetto **pellet**: esso è costituito dalle porzioni più pesanti del campione che, per azione della forza centrifuga, precipitano sul fondo del contenitore dove formano un deposito solido. Sopra al pellet si distingue una fase liquida detta **surnatante**: essa è formata dalle componenti più leggere del campione che sono rimaste in soluzione.

Ovviamente la velocità di rotazione del rotore della centrifuga e il tempo di durata della centrifugazione sono scelte in base al peso molecolare della componente in soluzione che si desidera separare.

• La **cromatografia** è una delle varie tecniche che consentono di isolare e purificare specifiche proteine a partire da una miscela proteica complessa. Una colonna (di vetro o di plastica particolare) viene densamente riempita (impaccata) con un letto di microscopiche "perline" (di gel di silice), la cui funzione è quella di formare una matrice solida attraverso cui far passare la soluzione contenente le proteine da separare. Nella porzione terminale della colonna la presenza di un filtro poroso consente di trattenere le microsferette all'interno della colonna stessa.

Una matrice costituita da "perline" con caratteristiche chimiche idrofobiche, come quella utilizzata nell'esperimento, è detta **matrice ad interazione idrofobica**.

Per ulteriori informazioni sulla cromatografia ad interazione idrofobica (HIC) si rimanda al prossimo articolo.

Quindi, l'enzima idrolitico **lisozima** è stato aggiunto alla sospensione in modo da degradare la parete cellulare batterica, evento indispensabile al fine di consentire il passaggio in soluzione delle componenti citoplasmatiche solubili, inclusa la proteina GFP. Infatti, una volta privato della parete, il batterio scoppia a causa dell'elevata pressione osmotica intracellulare. La bassa concentrazione salina della soluzione tampone TE ha appunto lo scopo di favorire la diffusione passiva dell'acqua, attraverso la membrana plasmatica, all'interno della cellula batterica che, in tal modo, tende via via a rigonfiarsi sino a scoppiare. Conferma dell'avvenuta lisi delle cellule batteriche è data dalla formazione, all'interno della provetta eppendorf contenente la sospensione, di una componente filamentosa bianca simile a cotone. Questa è costituita dai frammenti della parete e della membrana cellulare ottenuti, rispettivamente, in seguito all'azione litica del lisozima e della pressione osmotica della soluzione.

Al fine di favorire l'azione litica del lisozima, la sospensione batterica è stata posta per una decina di minuti in cella termostatica a 37 °C: questa è la temperatura ottimale per il funzionamento dell'enzima.

La successiva centrifugazione dei campioni ha poi consentito di separare le particelle del lisato di maggiori dimensioni, quali pezzi di membrana e parete cellulare, dalle

proteine (GFP inclusa) che, essendo meno pesanti, sono rimaste in soluzione nel **surnatante**. Questo, infatti, se illuminato con luce ultravioletta (UV) risultava di color verde fluorescente, a riprova della correttezza del procedimento di estrazione effettuato.

Il surnatante è stato poi velocemente trasferito in una nuova eppendorf (siglata con T1, si veda oltre) facendo molta attenzione a non prelevare frammenti di **pellet**, anche piccoli, che avrebbero potuto interferire negativamente nella successiva fase di purificazione.

La separazione e la purificazione della proteina d'interesse sono state effettuate mediante una **tecnica cromatografica** specifica detta **ad interazione idrofobica** (HIC: *Hydrophobic Interaction Chromatography*). Questa sfrutta le differenti caratteristiche di idrofobicità superficiale delle proteine per la formazione, in ambiente fortemente salino, di interazioni idrofobiche tra i ligandi apolari presenti sulla matrice cromatografica e le stesse regioni proteiche idrofobiche.

Il procedimento di separazione e purificazione della GFP prevedeva 4 passaggi successivi (Figura 3):

- stadio di equilibratura,
- stadio di caricamento del campione,
- stadio di lavaggio,
- stadio di eluizione.

In primo luogo la colonna cromatografica, precedentemente impaccata con resina di silice, è stata equilibrata con un tampone ad alta concentrazione salina, indicato come soluzione di equilibratura [SE = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2 M]. La sua funzione era quella di creare all'interno della colonna un ambiente a concentrazione salina uguale a quello del campione che sarebbe stato successivamente caricato.

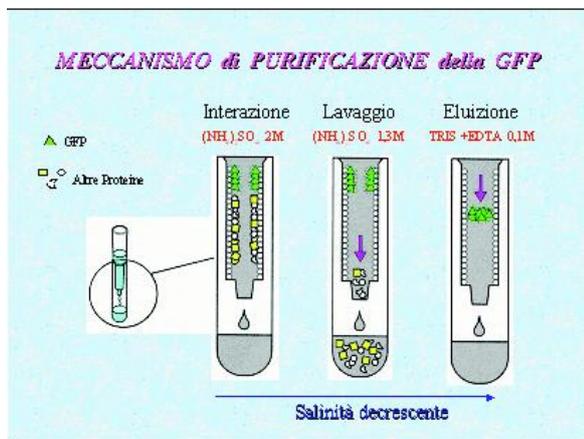


Figura 3

Il surnatante contenente la proteina GFP, ottenuto per centrifugazione del lisato batterico, è stato aggiunto ad un pari volume di tampone ad altissima concentrazione salina: il tampone d'interazione [TI = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 4 M]. Poiché i volumi mescolati erano uguali, la soluzione risultante ha assunto la stessa concentrazione salina presente nella colonna equilibrata, ossia 2 M. Questa elevata concentrazione salina aveva lo scopo di avviare il processo di **desolvatazione** (si veda oltre) delle regioni idrofobiche superficiali delle proteine in soluzione che risultavano, quindi, nelle condizioni ideali per interagire con le "perline" idrofobiche della matrice.

Il campione è stato poi caricato all'interno della colonna cromatografica mediante l'utilizzo di una siringa. In questa fase le proteine completamente idrofile sono transitate all'interno della matrice senza interagire con essa e sono state eluite dalla colonna insieme alla fase acquosa della soluzione caricata. Al contrario, le proteine che presentavano porzioni idrofobiche più o meno estese si sono legate alla matrice, in modo direttamente proporzionale alla loro idrofobicità superficiale, grazie all'instaurarsi di interazioni idrofobiche. Poiché la GFP presenta un discreto numero di residui amminoacidici idrofobici sulla sua superficie, essa ha interagito fortemente con le microsferette della matrice che quindi l'hanno trattenuta. Ciò è stato verificato facilmente illuminando la colonna cromatografica con luce UV tramite cui è risultato evidente un anello di color verde fluorescente a livello della parte alta della matrice.

Nella fase successiva, il caricamento in colonna di una soluzione a media concentrazione salina [tampone di lavaggio (TL) = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1,3 M] ha indotto un graduale abbassamento della salinità della matrice. Tale progressiva modificazione delle caratteristiche ambientali ha portato ad una crescente **risolvatazione** (si veda oltre) dei radicali idrofobici delle proteine legate. Queste, in tal modo, hanno diminuito altrettanto gradualmente la loro idrofobicità complessiva e conseguentemente la loro associazione alla matrice, sino a venire eluite dalla colonna.

38 Solo le proteine con un'elevata idrofobicità iniziale (come la GFP) non si sono distaccate dalla matrice, con la quale hanno continuato a interagire seppure con legami più de-

boli rispetto alla condizione precedente.

È proprio in questo stadio che si è verificato il processo di purificazione della GFP: essa è stata infatti separata da tutte le altre proteine citoplasmatiche che, a differenza della proteina d'interesse, eluiscono dalla colonna. Anche in questo caso la presenza di GFP nella matrice è stata facilmente evidenziata illuminando quest'ultima con luce ultravioletta. Infine, il caricamento in colonna di un tampone a bassissima (rispetto ai passaggi precedenti) concentrazione salina [tampone di eluizione (TE) = Tris + EDTA 0,1 M] ha consentito di eluire dalla colonna anche la proteina GFP. Tale tampone ha agito diminuendo ulteriormente la salinità della matrice e ha indotto, di conseguenza, un aumento proporzionale della idrofilicità delle proteine rimaste ad essa legate nella fase precedente. È stato proprio il ritorno della GFP al grado di idrofilicità iniziale (si veda oltre) che ne ha consentito il definitivo distacco dalla matrice.

Mentre nei passaggi precedenti la fase liquida via via fuoriuscita dalla colonna cromatografica è stata "scartata" poiché priva di interesse per i nostri scopi, in questo ultimo stadio la soluzione eluita, contenente la proteina d'interesse, è stata raccolta e suddivisa in diverse eppendorf.

b) Risultati

L'identificazione della *Green Fluorescent Protein* purificata è stata quindi effettuata esponendo semplicemente l'eluato ottenuto alla luce ultravioletta del transilluminatore o di una lampada portatile. A riguardo, l'illuminazione dei diversi sottocampioni con luce UV ha messo in evidenza una ripartizione non uniforme della proteina GFP negli stessi. Questa, infatti, è apparsa (o tale sarebbe dovuta essere) più concentrata nella prima e/o seconda eppendorf per poi diminuire gradualmente, sino a scomparire, in quelle successive. Tale distribuzione è spiegabile considerando che la quantità di proteina verde fluorescente legata alla matrice si distacca da essa tutta insieme ed eluisce, quindi, dalla colonna soprattutto all'interno delle prime gocce. Poiché ogni sottocampione era costituito da una sola goccia di eluato, è facile comprendere come la/e prima/e eppendorf siano risultate quelle maggiormente fluorescenti.

I casi in cui, invece, è stata osservata una debole fluorescenza distribuita in maniera pressoché uniforme in tutte le eppendorf possono essere spiegati con un mal funzionamento della colonna cromatografica. In questa circostanza la matrice contenuta nella colonna probabilmente non era impaccata in maniera corretta e ciò è bastato per alterare il risultato del processo di purificazione. Infine, una eventuale assenza di fluorescenza in tutti i sottocampioni può essere interpretata con due ipotesi differenti:

a) il campione è andato perduto, nei passaggi precedenti, a causa di un mal funzionamento della colonna cromatografica che non ha consentito alla proteina di legarsi efficacemente alla matrice (in questo caso la proteina può essere rintracciata, sempre grazie all'uso della lampada UV, in soluzione nella fase acquosa eluita e scartata)

b) oppure lo stadio di eluizione non è stato eseguito correttamente e la GFP è rimasta legata alle microsferette idrofobiche della matrice (in tal caso è ancora possibile osservare l'anello color verde fluorescente a livello della matrice).

Il concetto importante da ricordare è che una purificazione cromatografica di elevata qualità è quella che consente di rintracciare la proteina d'interesse in un numero quanto più limitato di sottocampioni.

Posto che il progetto didattico realizzato si è incentrato

sulla spiegazione del processo di purificazione utilizzato in questo esperimento, al termine del presente articolo viene data una breve interpretazione dei fenomeni sopra riportati, che saranno ripresi ed ampliati dettagliatamente nella terza parte di questo lavoro.

In un ambiente acquoso il “ripiegamento” delle molecole proteiche è guidato dalla forte tendenza dei residui idrofobici ad escludere l’acqua: tali gruppi sono infatti termodinamicamente più stabili quando sono addensati all’interno della proteina piuttosto che esposti sulla sua superficie⁴. Perciò, la catena polipeptidica di qualsiasi molecola di proteina citoplasmatica (GFP inclusa) si ripiega spontaneamente in modo che i residui amminoacidici idrofobici si trovino il più possibile all’interno della molecola e le catene polari, provviste di carica, alla sua superficie. Questo porta ad una stabilizzazione della struttura tridimensionale della proteina che tende ad assumere una forma compatta (globulare) con pochi spazi vuoti.

In questo ambiente la superficie proteica è interamente circondata da molecole di acqua che solvatano la proteina rendendola solubile: tuttavia, mentre a livello delle porzioni polari si instaurano interazioni dirette con i dipoli delle molecole d’acqua grazie alla formazione di legami a idrogeno, nelle regioni idrofobiche le molecole d’acqua assumono una disposizione altamente ordinata con la funzione di schermare tali regioni dal contatto con l’acqua circostante (Figura 4).

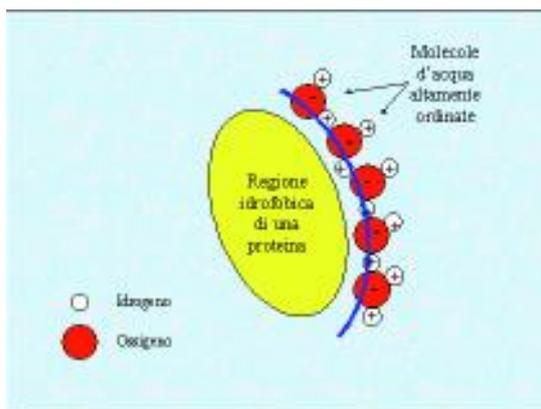


Figura 4

A questo punto, l’aggiunta di una soluzione ad alta concentrazione salina alla soluzione acquosa contenente la miscela proteica complessa innesca un processo di “cattura” delle molecole d’acqua libere, necessarie per la solvatazione degli anioni e dei cationi salini. Se la concentrazione della soluzione salina è elevata (ad esempio 4 M) le molecole di acqua libere non sono sufficienti per solvatare tutti gli ioni presenti in soluzione. Inizia in tal modo un processo di **desolvatazione delle regioni idrofobiche superficiali delle molecole proteiche** che, risultando esposte, ossia non più schermate dal guscio di molecole d’acqua altamente ordinate, tenderanno ad interagire tra loro. Se il campione biologico viene caricato su una matrice per HIC, le porzioni proteiche con caratteristiche idrofobiche propenderanno ad interagire con le microsferette idrofobiche della matrice formando legami tanto più forti quanto più elevata è l’idrofobicità superficiale della proteina.

Se, in seguito, la salinità della soluzione viene gradualmente ridotta, **le regioni idrofobiche ritornano**, con altrettanta gradualità, **ad essere schermate da nuovi gusci**

⁴ A riguardo si rimanda al prossimo articolo.

di molecole d’acqua altamente ordinate. Questo processo porta ad un progressivo distacco dalla matrice delle molecole proteiche che eluiscono quindi fuori dalla colonna cromatografica. Poiché l’ordine di eluizione è inversamente proporzionale al grado d’idrofobicità superficiale delle proteine, queste, alla fine, risulteranno essere state separate.

Per ciò che riguarda la proteina GFP, sapendo che essa espone sulla sua superficie un discreto numero (rispetto ad altre proteine) di residui amminoacidici idrofobici, è facile comprendere come questa proteina, se posta in un ambiente ad elevata salinità, presenti nel complesso una elevata idrofobicità.

Riflessioni didattiche

In questo articolo, si è ritenuto utile riportare nel dettaglio la sequenza delle operazioni eseguite in laboratorio poiché la metodica seguita offre numerosi spunti di riflessione teorica.

A tale riguardo:

- Gli studenti sono stati indotti a ripercorrere i concetti di dissociazione ionica in soluzione e di neutralizzazione fra cariche di segno opposto al fine di interpretare e comprendere il ruolo della soluzione trasformante. In tal modo, sono risultate ancora una volta evidenti le connessioni tra chimica di base e scienze della Vita.
- Si è sottolineato il raccordo tra le due discipline studiando la funzione degli enzimi, che riconduce inevitabilmente alla nozione di energia di attivazione, al ruolo dei catalizzatori e, più in generale, alla cinetica chimica.
- Sono stati riproposti i concetti di soluzione e di solubilità, quest’ultima determinata in gran parte dal carattere idrofilo e idrofobo sia del solvente sia del soluto.
- È stato ribadito il concetto d’interazione ione-dipolo e, conseguentemente, di solvatazione delle sostanze disciolte in soluzione. In modo particolare, gli studenti hanno compreso il meccanismo attraverso il quale gli ioni ammonio e solfato in soluzione richiamano a sé le molecole d’acqua, al punto da desolvatare completamente i residui amminoacidici idrofobici delle catene proteiche.

Ringraziamenti

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

Desidera altresì ringraziare il Prof. Rinaldo Cervellati, docente del Dipartimento di Chimica dell’Università di Bologna, e la Prof.ssa Vittoria Stagni, docente di Scienze presso il Liceo Scientifico “A. Righi” di Bologna, per il loro insostituibile apporto alla realizzazione del progetto formativo e del presente articolo.

Bibliografia e opere consultate

- **Atkins P.W.:** Chimica Fisica. 3^a Edizione, 1997, Zanichelli, Bologna.
- **Bertolini P.:** *Introduzione al convegno*. Encyclopaedia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 7-14.
- **Brady J.E., Holum J.R.:** Fondamenti di chimica. 1985, Zanichelli, Bologna.
- **Campbell N.A., Mitchell L.G., Reece J.B.:** Immagini della biologia. 2000, Zanichelli, Bologna.
- **Cerruti L.:** Bella e potente. La chimica del Novecento fra

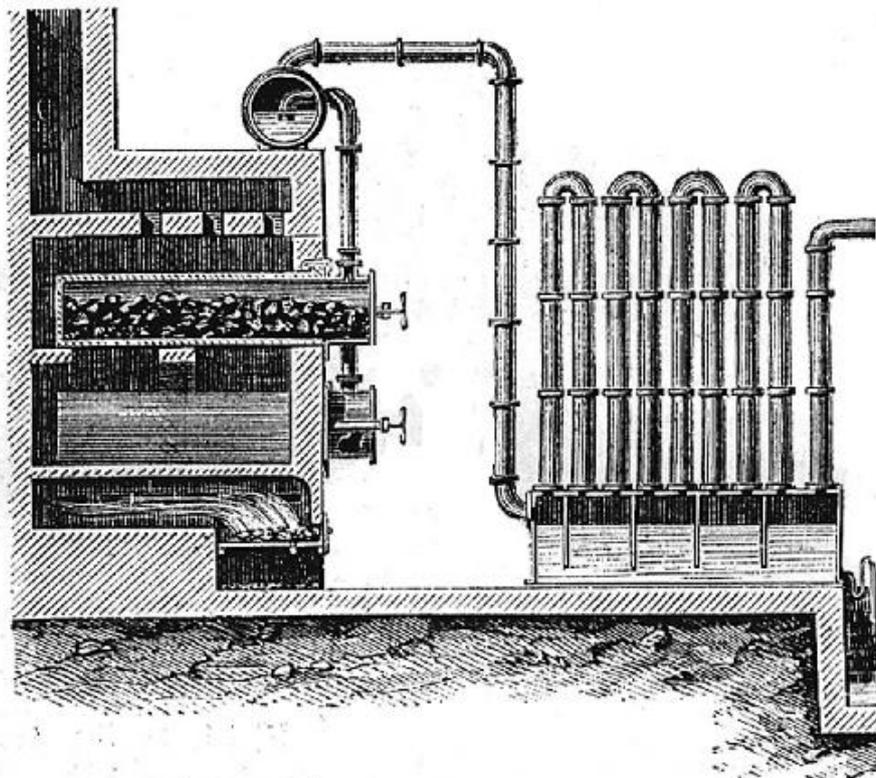
scienza e società. 2003. Editori riuniti, Roma.

- **Cervellati R., Perugini D.:** Guida alla didattica della chimica nella Scuola Secondaria Superiore. 1987, Zanichelli, Bologna.
- **Chang R.:** Chimica Fisica. 2° volume, 2003, Zanichelli, Bologna.
- **Dallari M.:** *Identità personale e politica dell'insegnante.* Encyclopaideia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 21-34.
- La nuova enciclopedia delle scienze Garzanti. 3ª Edizione, 1991, Garzanti, Milano.
- Le Tavole M A F B I C. 1ª Edizione, 1989, Zanichelli, Bologna.
- **Moore W.J.:** Chimica Fisica. 1990, Piccin, Padova.
- **Mortari L.:** *Per una presenza responsabile.* Encyclopaideia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 49-56.
- **Mullis K.B.** (premio Nobel per la Chimica 1993): Lezione svolta in occasione del conferimento della Laura ad honorem, Università degli Studi di Bologna, 04/06/2004.
- **Russell P.J.:** Genetica. 2ª Edizione, 1996, EdiSES, Napoli.
- **Solomons T.W.G.:** Chimica organica. 2ª Edizione, 1988, Zanichelli, Bologna.
- **Sternberg R.J.:** Stili di pensiero. 1998, Centro studi Erickson, Trento.

- **Stryer L.:** Biochimica. 4ª Edizione, 1996, Zanichelli, Bologna.
- **Tartarotti L.:** La programmazione didattica. Giunti-Lisciani, Firenze.
- **Tsien R.Y.:** The Green Fluorescent Protein. *Ann. Rev. Biochem.*, 1998; 67: 509-544.
- **Valle G., Citterich M.H., Attimonelli M., Pesole G.:** Introduzione alla bioinformatica. 2003, Zanichelli, Bologna.
- **Wilson K., Walker J.:** Metodologia Biochimica. 2001, Cortina Editore.
- **Zumdahl S. S.:** Chimica. 1993, Zanichelli, Bologna.

Siti internet consultati

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



Four, barillet et jeu d'orgues.



Fotorecettori biologici: il sole e la vita sul pianeta terra

PIER LUIGI GENTILI*

Riassunto

Il sole costituisce la principale fonte d'energia per il pianeta terra. Quest'energia è stata fondamentale per la comparsa della vita ed è tuttora essenziale per il suo sostentamento.

In questo lavoro viene descritto il ruolo svolto dall'energia solare nei confronti dei processi evolutivi terrestri e l'azione che esercita nei confronti degli attuali esseri viventi. La vita sul pianeta terra utilizza la radiazione solare sia come fonte d'energia sia come sorgente d'informazione ai fini dell'orientamento spaziale e temporale.

Abstract

The Sun is an energy source of utmost importance for the Earth. Solar energy has been crucial for the emergence of Life and is still fundamental for its support.

In this paper, the role fulfilled by the Sun's energy toward the terrestrial evolutionary processes and the current action performed toward the living beings are presented. Life on Earth employs the solar radiation as both energy source and information spring for its spatial and temporal orientation.

1. Introduzione

Il sole è la stella più vicina al pianeta terra, la quale, senza posa, irradia energia prodotta in virtù di reazioni nucleari che avvengono al suo interno.

La terra, che si trova ad una distanza media di circa 150 milioni di chilometri, riceve costantemente una piccola frazione dell'energia che il sole stesso sprigiona. Questa, se pur piccola, ma continua quantità d'energia fu una tra le principali cause che favorì la comparsa della vita sul pianeta terra ed è, tuttora, essenziale per il sostentamento d'ogni essere vivente.

L'energia solare giunge, per lo più, sotto forma di radiazioni elettromagnetiche aventi lunghezza d'onda comprese tra 170 e 4000 nm, cioè comprese tra la regione del lontano UV fino al vicino infrarosso (vedi Fig.1). Al limite superiore

dell'atmosfera, su ogni centimetro quadrato di superficie, orientata perpendicolarmente alla radiazione, arrivano circa 2 calorie al minuto.¹ Di tale energia, solo un 51 % raggiunge la crosta terrestre; la restante porzione è assorbita o riflessa dall'atmosfera, la quale, tra l'altro, impedisce che le radiazioni UV più nocive colpiscano gli esseri viventi.

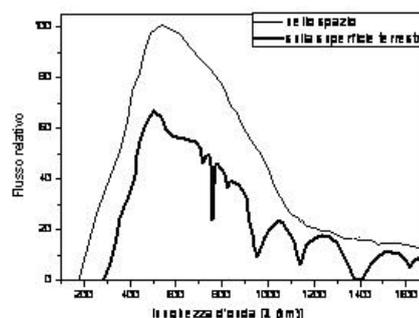


Fig. 1. Spettro solare sopra l'atmosfera (linea leggera) e vicino la superficie terrestre (linea in grassetto).

2. Comparsa della vita sul pianeta terra e sua evoluzione

E' indubbio il ruolo fondamentale svolto dalla radiazione solare ai fini della comparsa della vita sul pianeta terra. Secondo le teorie scientifiche più accreditate l'atmosfera primordiale consisteva di gas d'origine vulcanica, quali metano (CH_4), ammoniaca (NH_3), vapore d'acqua (H_2O), azoto (N_2), anidride carbonica (CO_2), acido solfidrico (H_2S)... Tale miscela inorganica di gas, sotto l'azione principalmente di radiazione UV² e di scariche elettriche generate dai fulmini³, diede origine alle molecole base o unità costitutive le macromolecole presenti in ogni essere vivente. Tali molecole base non sono altro che i monomeri dei bio-polimeri, cioè amminoacidi, monosaccaridi e basi azotate.

Secondo la teoria dell'evoluzione molecolare, la quale fornisce una visione deterministica dell'origine della vita,⁴ i bio-monomeri, assemblandosi, diedero origine ai bio-polimeri, i quali, a loro volta, interagendo a livello supramolecolare crearono complessi polimerici. Secondo un cammino evolutivo caratterizzato da un crescente grado d'auto-organizzazione, i complessi polimerici, interagendo reciprocamente, diedero vita a network metabolici, i quali, a loro volta, coinvolti in processi sinergici, originarono le prime cellule.

* Dipartimento di Chimica, Università di Perugia,
Via Elce di Sotto 8, 06123 Perugia;
pierluigi.gentili@tiscali.it

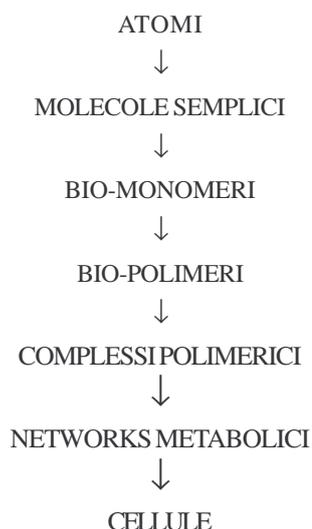
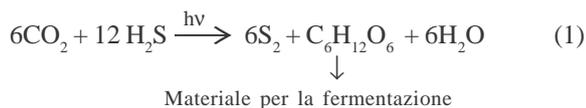
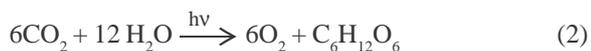


Fig.2. Schema che descrive la visione deterministica dell'origine della vita.

Grazie alle ricerche paleontologiche sappiamo che le testimonianze delle prime forme di vita debbono esser fatte risalire a circa 3 miliardi d'anni fa, al periodo precambriano.⁵ I primi organismi viventi erano microscopici, unicellulari e procarioti.⁶ Probabilmente essi vivevano sul fondo di mari dove si nutrivano di sostanze organiche continuamente formate per via non biologica. Si trattava, quindi, d'organismi eterotrofi che per produrre energia necessaria al loro sostentamento operavano la fermentazione anaerobica delle sostanze assorbite dall'ambiente. È molto probabile che la competitività nell'approccio alle risorse organiche, inevitabilmente presente in seno alle prime comunità eterotrofe, abbia spinto alcuni organismi a sfruttare appieno l'energia solare, ovvero a sintetizzare sostanze nutritive autonomamente, per via fotosintetica. Si originarono così comunità batteriche autotrofe,⁷ il cui processo produttivo di sostanze nutritive, come indicato nello schema 1, altro non era che la fotosintesi in condizioni anaerobiche:



Una vera e propria rivoluzione biologica avvenne circa 2 miliardi d'anni fa, quando negli ecosistemi terrestri fecero la loro comparsa batteri autotrofi fotosintetici che utilizzavano acqua invece d'acido solfidrico come uno dei reagenti (vedi schema 2):



UV ad alta energia, ad uno strato d'ozono. L'ozono svolse un'azione schermante nei confronti delle radiazioni solari più nocive e permise ad alcuni esseri viventi di colonizzare la superficie terrestre. Inoltre l'abbondare di O₂ Il prodotto di scarto di questa reazione era l'ossigeno. Gli effetti della liberazione d'ossigeno furono straordinari. Questo gas biatomico accumulandosi progressivamente nell'atmosfera diede origine, per azione della radiazione diede agli organismi una nuova opportunità per l'autosostentamento, cioè quella di sfruttare la reazione di combustione delle sostanze nutritive per produrre energia. L'energia che si libera nella respirazione è di gran lunga superiore a quella rilasciata nella fermentazione.

L'esistenza d'esseri viventi dotati di differenti modalità di sussistenza indusse un cambiamento biologico attestato dai resti fossili risalenti a circa 1450 milioni d'anni fa: se prima gli unici resti fossili sono costituiti da organismi procarioti non più grandi di 60 μm, a partire da 1450 milioni d'anni fa compaiono resti fossili di cellule eucariote primitive "più grandi", le cui dimensioni vanno dai 100 ai 600 μm. Si ritiene che la comparsa delle prime cellule eucariote altamente organizzate, grazie alla presenza d'unità sub-cellulari dette "organuli", sia stata favorita dalla simbiosi tra procarioti in grado di operare ciascuno una specifica funzione e di trarre vantaggio reciproco dal processo d'integrazione. Per esempio il mitocondrio, definito la "centrale elettrica" delle cellule eucariote, nel quale avvengono i processi di respirazione, sarebbe il risultato di un processo simbiotico⁸ tra un primitivo procariote in grado di fagocitare grandi quantità di nutrimento ed un batterio aerobico capace di operare la respirazione cellulare, ma con scarse capacità nutrizionali. È evidente che l'associazione tra queste due tipologie d'organismi era estremamente vantaggiosa in termini di bilancio energetico: il procariote poteva fornire grandi quantità di nutrimento al "proto-mitocondrio" le cui capacità consentivano al primo un migliore recupero energetico.

Un altro passo fondamentale nel lungo e complesso processo evolutivo degli esseri viventi fu l'acquisizione della pluricellularità. Essa fu favorita dagli indubbi vantaggi che garantiva in termini di stabilità strutturale (aumento delle dimensioni, aumento delle capacità rigenerative, allungamento della vita) e di funzionalità (divisione del lavoro tra differenti ceppi cellulari riuniti in organi e tessuti). Questa condizione fu sicuramente acquisita attorno a 800 milioni d'anni fa, periodo da cui provengono microfossili d'organismi interpretati come animali (Chitinozoi). Con quest'ultima acquisizione si completa il corredo fenomenologico della vita ed essa potrà esprimere, nelle ere successive, una potenzialità ben lungi dall'esser interamente compresa. Dopo numerosi millenni d'evoluzione, gli attuali essere viventi vengono suddivisi in cinque fondamentali famiglie, dette regni: quello degli animali, delle piante, dei funghi, dei protisti (organismi unicellulari eucarioti) e delle monere (organismi unicellulari procarioti).

3. Ruolo del sole nei confronti degli attuali esseri viventi

L'esistenza di tutti gli organismi viventi (eccezion fatta per quelli che vivono in ambiente ipogeo e negli abissi marini⁹), dipende dai fotoni che provengono dal sole. Questi possono esser utilizzati come quanti d'energia o come bit d'informazione ai fini dell'orientamento nello spazio e nel tempo.

L'assorbimento dei fotoni da parte degli esseri viventi avviene in generale per mezzo di specifiche proteine fotorecetrici. Esse consistono di uno o più gruppi prostetici, i quali sono composti organici od organometallici, inclusi in un intorno macromolecolare di natura poli-amminoacidica, detto apoproteina. Sono i gruppi prostetici ad assorbire direttamente i fotoni solari ed ad innescare i processi di conversione dell'energia solare in energia chimica od elettrochimica.

3.a. Sole come fonte d'energia.

3.a.1. Fotosintesi clorofilliana.

Il più importante e sofisticato esempio di sfruttamento della radiazione solare come fonte d'energia e' costituito

dalla fotosintesi clorofilliana.¹⁰ Essa è realizzata da organismi come piante, alghe e alcune varietà di batteri (cianobatteri e batteri purpurei). La fotosintesi inizia quando la luce è assorbita da pigmenti-antenna. Questi pigmenti possono appartenere alla classe delle clorofille, dei carotenoidi o delle ficobiline. Le strutture molecolari delle clorofille e delle ficobiline hanno in comune un'unità tetrapirrolica (vedi Fig.3), che nel caso delle clorofille è ciclica e coordinante un atomo di magnesio, mentre nelle ficobiline è lineare e non coordinata ad atomi metallici. I carotenoidi sono idrocarburi costituiti da due anelli esatomici, legati l'uno all'altro per mezzo di lunghe catene d'atomi di carbonio insaturo. Le clorofille assorbono luce blu e rossa, i carotenoidi assorbono la luce blu e parte della verde (come si vede in Fig. 3) e le ficobiline assorbono la restante porzione dello spettro visibile.

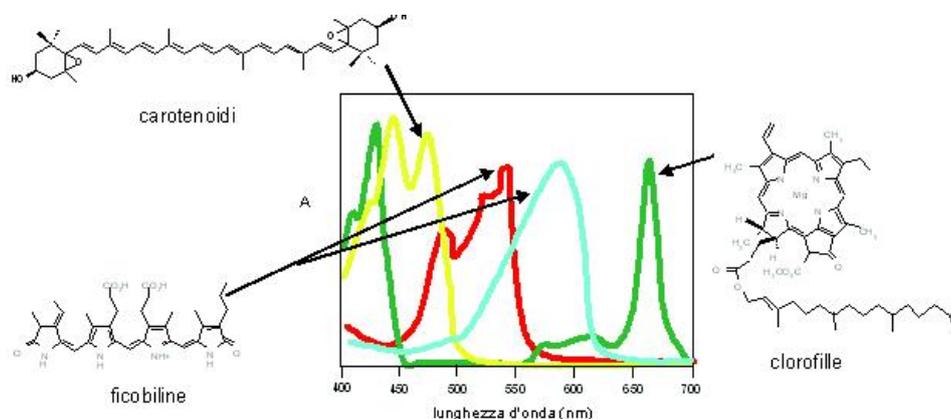


Fig.3. Strutture molecolari e spettri d'assorbimento dei cromofori clorofille, ficobiline e carotenoidi.

Considerando che tali pigmenti assorbono anche il vicino UV e che alcune batterioclorofille assorbono l'infrarosso, è evidente che nessuna regione dello spettro solare va sprecata. I pigmenti costituenti i sistemi antenna, presenti in numero variabile da decine ad alcune migliaia, a seconda dell'organismo fotosintetico, sono opportunamente orientati nello spazio l'uno rispetto all'altro grazie all'intorno proteico:¹¹ il fine è di trasferire la percentuale più alta possibile d'energia solare nei centri di reazione fotosintetici. I centri di fotoreazione sono costituiti da proteine situate nelle membrane di strutture a sacchetto dette tilacoidi (dal greco *θυλακος* = sacchetto). Negli eucarioti i tilacoidi sono contenuti in strutture a forma di disco con diametro di 5 μm e spessore di 2 μm , dette cloroplasti.

Le proteine di membrana dei centri di fotoreazione contengono molecole di clorofilla che, una volta assorbita l'energia proveniente dai sistemi antenna, innescano una reazione di trasferimento elettronico a vicine molecole accettrici, originando una separazione vettoriale (con direzione perpendicolare alla membrana) di cariche elettriche di segno opposto. La rapidità con la quale avviene la separazione di carica (da 3 a 30 picosecondi¹²) insieme con un cambiamento conformazionale della proteina, minimizzano la probabilità di ricombinazione delle cariche di segno opposto e quindi la dispersione di energia luminosa.

Dopo l'iniziale evento di separazione di cariche, ha luogo una serie di reazioni di trasferimento elettronico che alla fine trasformano l'energia assorbita dal sole in forma chimica che può esser utilizzata dalle cellule. Si producono, infatti, ATP (adenosin trifosfato) e NADH (nicotinammide adenosin dinucleotide fosfato).

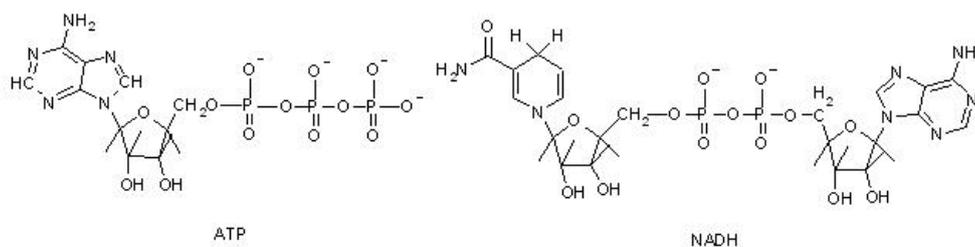


Fig.4 Strutture molecolari di ATP e NADH.

ATP e NADH sono essenziali per la trasformazione di CO₂ in zuccheri nella così detta fase oscura della fotosintesi (nota anche come ciclo di Calvin-Benson). NADH è un forte agente riducente e realizza la riduzione del carbonio. ATP, invece, è in grado di dare reazioni di fosforilazione (cedendo uno o due dei suoi gruppi fosfato terminali) che costituiscono un comune meccanismo d'attività enzimatica. Tutti gli organismi viventi utilizzano ATP come riserva d'energia sia per processi anabolici¹³ che catabolici.¹⁴ La sua sintesi è catalizzata dall'enzima ATP-sintasi¹⁵ che viene attivato da un gradiente di potenziale elettrochimico transmembrana dovuto allo ione H⁺. Nei vegetali l'ATP-sintasi è localizzato nelle membrane dei tilacoidi ed il gradiente protonico si crea in virtù del flusso elettronico innescato dall'assorbimento della luce da parte della clorofilla.

Negli altri esseri viventi eucarioti, l'ATP-sintasi è localizzato nella membrana interna dei mitocondri ed il gradiente protonico è generato per ossidazione di molecole di glucosio. È noto, poi, che esistono batteri alofili che in presenza di O₂ ossidano molecole combustibili per produrre ATP, come gli eucarioti, ma quando l'ossigeno scarseggia, essi utilizzano una proteina di membrana, la batteriorodopsina, come pompa protonica, attivabile per assorbimento di luce solare.

3.a.2 Pompe ioniche

La batteriorodopsina¹⁶ possiede il retinale come gruppo prostetico fotorecettore. Il retinale, derivato del beta-carotene, è anche il cromoforo della rodopsina, la proteina presente nelle cellule fotorecetriche che presenziano la funzione della visione negli animali (vedi paragrafo 3.b.1). Il retinale nella batteriorodopsina, prima di assorbire un fotone, ha i doppi legami C=C tutti con configurazione *trans* (vedi Fig. 5).

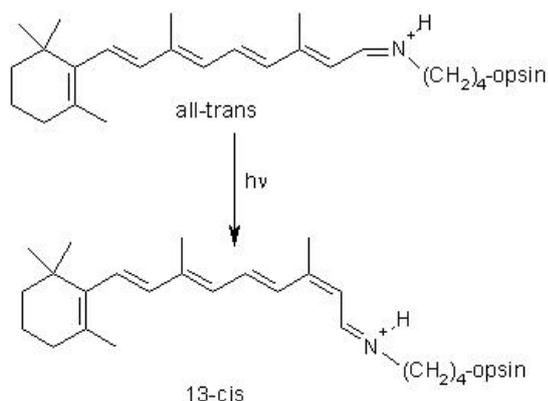


Fig. 5 Fotoisomerizzazione del retinale tutto-*trans* a 13-*cis* retinale.

Esso è legato all'involucro proteico come base di Schiff (C=N⁺H). L'assorbimento di un fotone induce l'isomerizzazione geometrica da *trans* a *cis* del doppio legame C(14)=C(13). Tale riarrangiamento strutturale favorisce il rilascio protonico da parte della base di Schiff ad un amminoacido vicinale (Aspartato 85). Quindi, in virtù di una ben architettata struttura supramolecolare della proteina, si ha una cascata d'eventi che realizzano in pochi millisecondi la migrazione di un protone dal lato citoplasmatico al lato extracellulare ed il ripristino della configurazione tutta - *trans* per il retinale.

Per mantenere la corretta concentrazione di sali nel

citoplasma, vi sono alcuni batteri che sono dotati di un'altra pompa ionica fotoattivabile: l'alorodopsina.¹⁷ Essa è situata nella membrana citoplasmatica e realizza un trasporto fotoindotto d'anioni quali Cl⁻, Br⁻, I⁻ e NO₃⁻ dall'ambiente extracellulare al citoplasma. Il gruppo prostetico fotosensibile è, come nella batteriorodopsina, il retinale legato covalentemente alla proteina sotto forma di base di Schiff e dotato di configurazione tutta - *trans*. L'alorodopsina ha una cavità creata da amminoacidi idrofobi, che accoglie gli anioni dal lato extracellulare, spogliandoli delle molecole d'acqua di solvatazione. Quando il retinale è nella configurazione tutta - *trans*, gli anioni non riescono a penetrare nel citoplasma. Nel momento in cui il gruppo prostetico assorbe radiazione (della regione visibile del verde, vale a dire compresa tra 500 e 650 nm), esso isomerizza a 13-*cis*-retinale (come nella batteriorodopsina) ed induce cambiamenti conformazionali della proteina, aprendo una via d'uscita per l'anione. Termicamente viene poi ripristinata la configurazione iniziale del retinale ed anche la conformazione di partenza della proteina, pronta per accogliere un nuovo anione.

3.a.3 Effetti dei raggi UV

I raggi solari ultravioletti¹⁸ che raggiungono la superficie terrestre inducono processi fotochimici con risvolti, in certi casi, benefici ed in altri nocivi nei confronti degli esseri viventi.

È ben noto che l'esposizione prolungata ai raggi UVB può provocare danni nel DNA, la macromolecola che contiene l'informazione genetica d'ogni organismo. Per esempio, coppie pirimidiniche come la timina (una delle quattro basi azotate che costituiscono il codice genetico) possono dimerizzare (vedi Fig. 6).

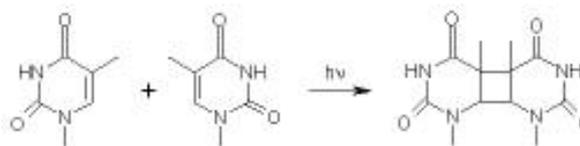
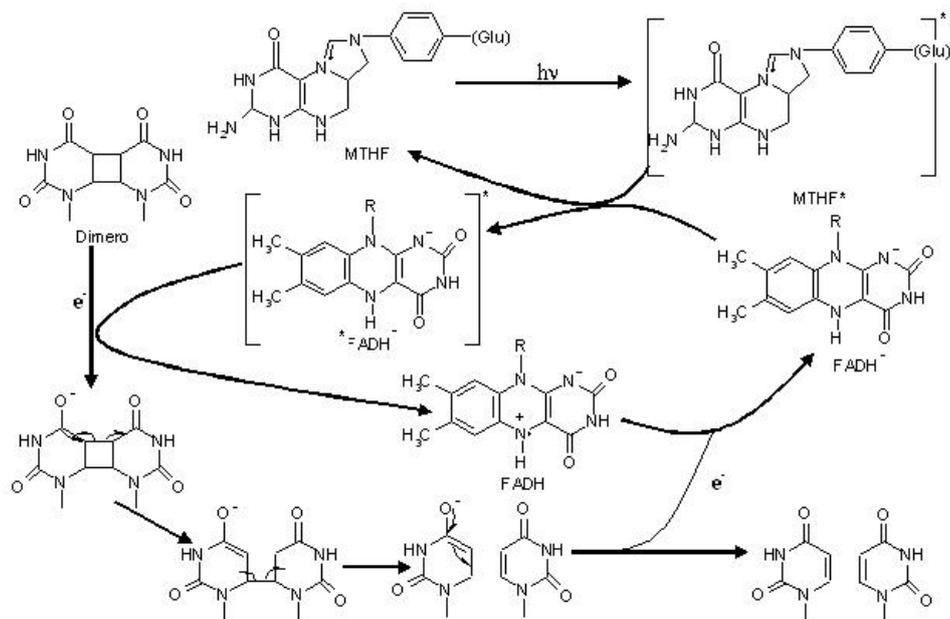


Fig. 6 Dimerizzazione della timina.

Un dimero pirimidinico non entra più nella struttura a doppia elica del DNA, per cui la replicazione e l'espressione dei geni rimangono bloccate fino a che la lesione non viene rimossa. Alcune specie di piante, batteri ed animali (non l'uomo) rimediano a questi danni per mezzo di una proteina fotoattivabile, la fotoliasi.

La fotoliasi¹⁶ contiene due gruppi prostetici: il primo, il metilentetraidrofolato (MTHF, detto anche pterina) agisce da antenna, cioè assorbe la radiazione solare (con lunghezza d'onda nella regione dell'UVA e del blu) e trasferisce l'energia assorbita al secondo, flavina adenin dinucleotide (FADH⁻). FADH⁻, elettronicamente eccitato, cede un elettrone al dimero pirimidinico; il sistema ciclobutanico si scinde e quindi l'elettrone è riceduto alla flavina.

La fotoliasi è così pronta per riparare un altro danno dovuto a dimerizzazione, in un'altra parte del DNA (vedi Fig.7). Uno dei modi con cui l'uomo cerca di evitare la fotoinduzione di danni nel proprio DNA consiste nel produrre una sostanza schermante la radiazione solare, cioè la melanina.¹⁹ La produzione di melanina viene stimolata dai raggi UV-A che penetrano nell'epidermide ed



interagiscono con un tipo di cellule, i melanociti, che presentano la formazione di melanosomi. I melanosomi sono corpuscoli costituiti appunto da melanina impaccettata. La melanina (la cui etimologia deriva dal greco ἰΰέαδò = nero) è una sostanza macromolecolare reticolata avente come monomero base la tirosina (vedi Fig. 8).

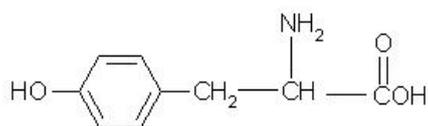


Fig. 8. Struttura molecolare della tirosina, unità base della melanina.

Esistono diversi tipi di melanina che variano per composizione e struttura e che possono essere suddivisi schematicamente in due gruppi: (a) l'eumelanina, un materiale il cui colore varia dal nero al bruno scuro e (b) la feomelanina di colore variabile dal giallo al rosso bruno. Tali melanine sono presenti non solo nella pelle, ma anche nei capelli, nei peli e nell'iride. Esse ci proteggono dagli effetti nocivi che la radiazione UV può indurre non solo nel DNA, ma anche sui folati (vedi Fig. 9). I folati costituiscono una famiglia di sostanze nutritive essenziali per la fertilità e lo sviluppo embrionale. In ogni modo è importante rilevare che i raggi solari UV non hanno solo effetti nocivi per la salute umana, ma sono anche benefici poiché, per esempio, inducono la sintesi della vitamina D. La radiazione UV-B converte il 7-deidrocolesterolo in Previtamina D, la quale viene successivamente trasformata in vitamina D dai reni (vedi Fig. 10).

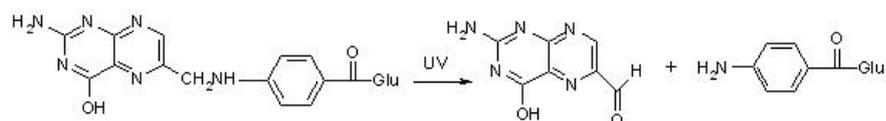


Fig. 9. Fotodecomposizione dei folati per opera dei raggi UV.

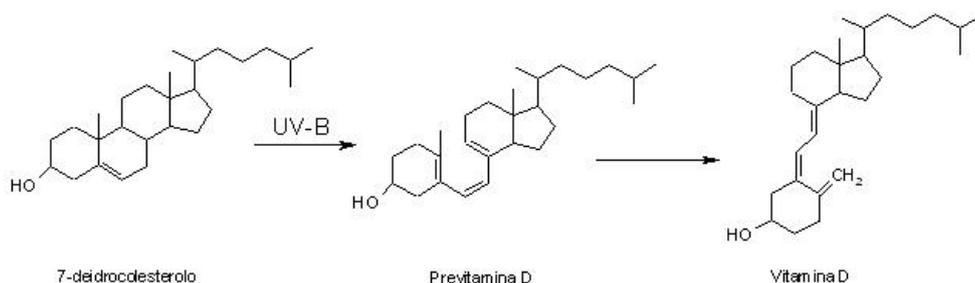


Fig. 10. Biosintesi della Vitamina D fotoindotta dai raggi UV-B.

La vitamina D è essenziale per lo sviluppo della nostra ossatura.

È evidente, dunque, che il nostro organismo necessita di un equilibrato dosaggio di raggi solari UV. Questa è la ragione per cui nelle zone del globo più soggette all'irraggiamento solare, cioè ai tropici, gli uomini hanno molta melanina e quindi una carnagione scura, mentre spostandosi a latitudini maggiori, le carnagioni divengono più chiare.

3.b. Il sole come sorgente d'informazione

La radiazione solare non è solo una fonte d'energia, ma è anche una sorgente d'informazione che consente agli esseri viventi di orientarsi spazialmente e temporalmente sul pianeta terra.

3.b.1. Orientamento spaziale degli animali

Moltissime specie del regno degli animali sono dotate d'organi come gli occhi che consentono di osservare e quindi di orientarsi spazialmente. La struttura di un occhio²⁰ può essere schematicamente paragonata a quella di una macchina fotografica. Se, per esempio, riflettiamo sulle parti che costituiscono l'occhio umano, (vedi Fig. 11) è evidente che la pupilla e l'iride svolgono la funzione del

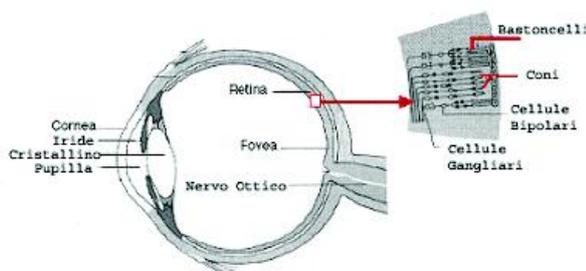


Fig. 11. Struttura schematica dell'occhio umano (tratta dal sito web: <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/V/Vision.html>).

diaframma, la cornea ed il cristallino quella dell'obiettivo e la retina quella della lastra fotografica.

La retina consiste di tre strati di cellule: lo strato di cellule fotorecetrici a cui si sovrappongono due strati di cellule neuronali. Il primo strato di cellule neuronali è costituito da cellule bipolari ed il secondo da cellule gangliari, le cui estremità sono collegate al nervo ottico. Nella parte centrale della retina, detta fovea, i due strati di cellule neuronali non sono presenti perché sono addensati nella periferia. In tal modo la fovea espone direttamente le cellule fotorecetrici. Dietro la retina vi è uno strato di cellule che producono melanina che svolge la funzione di assorbire la radiazione non captata dalle cellule fotorecetrici e che potrebbe creare fastidiosi fenomeni di riflessione in seno alla cavità ottica.

Le cellule fotorecetrici sono di due tipi: i coni, presenti in numero di circa tre milioni, che presiedono la visione diurna, a colori; i bastoncelli, presenti in numero di circa 100 milioni, che presiedono la visione notturna, in bianco e nero. La struttura di un bastoncello è illustrata in Fig.12: esso è una cellula allungata avente ad un'estremità un insieme di circa 1000 dischi dotati, nelle proprie membrane, delle proteine fotorecetrici (la struttura di tali dischi richiama alla mente quella dei tilacoidi delle piante).

La proteina fotorecetrica è la rodopsina avente come cromoforo l'11-cis retinale situato nella tasca proteica e

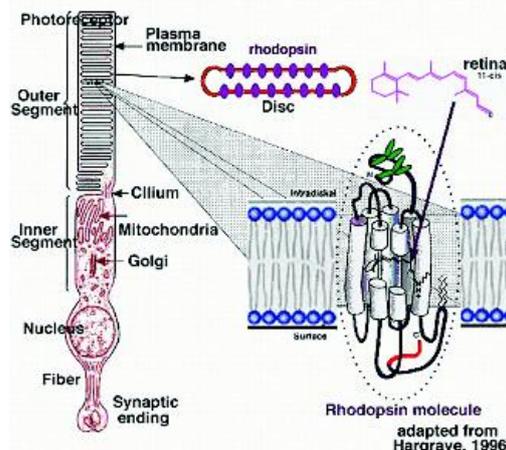


Fig. 12. Rappresentazione (tratta dal sito web: <http://webvision.med.utah.edu/photo1.html>) della struttura di un bastoncello, dei dischi presenti nel segmento esterno (Outer segment) e di una porzione della membrana di uno di tali dischi in cui è inserita la rodopsina.

con l'asse maggiore quasi orizzontale. Il primo processo indotto dall'assorbimento della radiazione è la fotoisomerizzazione dell'11-cis retinale a retinale tutto-trans (vedi Fig.13).

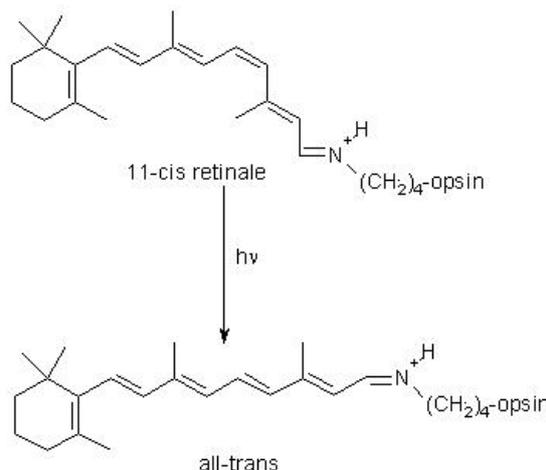


Fig. 13. Fotoisomerizzazione dell'11-cis retinale a retinale tutto-trans

Esso avviene in un intervallo di tempo alquanto corto, 200 fs (=200 10⁻¹⁵s)²¹ e con elevata resa ($\Phi=0.67$).²² Il cambiamento strutturale del cromoforo induce cambiamenti conformazionali dell'intorno proteico, che attivano una cascata di reazioni enzimatiche, con un notevole effetto d'amplificazione e che si traducono alla fine in un segnale neuronale.

Anche le proteine fotorecetrici dei coni contengono l'11-cis retinale come cromoforo.²³ Nonostante esse abbiano in comune l'11-cis retinale come gruppo prostetico, si distinguono tre tipi di coni sulla base della posizione del massimo d'assorbimento del cromoforo che contengono. Vi è un tipo di cono che assorbe principalmente la componente blu dello spettro visibile, uno che assorbe principalmente la componente verde ed uno la rossa (vedi Fig.14).

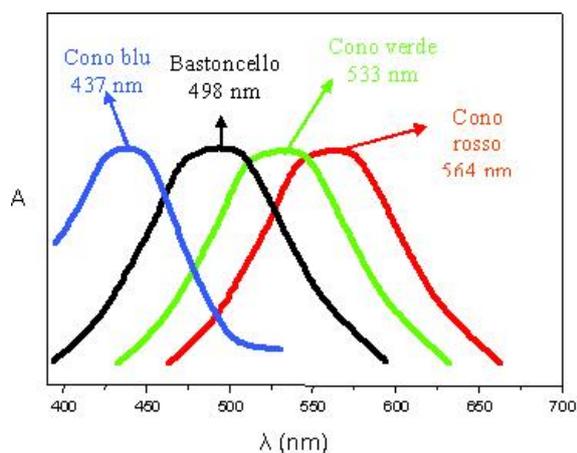


Fig. 14. Posizione spettrale della banda d'assorbimento dell'11-cis retinale nei tre tipi di coni e nei bastoncelli.

La differenza nel massimo d'assorbimento è causata da una differente sequenza amminoacidica della tasca proteica ospitante il gruppo prostetico. Per esempio la sostituzione di un amminoacido come l'alanina con uno più polare come la serina determina uno spostamento verso il rosso di circa 10 nm della lunghezza d'onda del massimo d'assorbimento del retinale. La visione dei diversi colori è frutto dell'attivazione, in diverse proporzioni, dei tre tipi di coni. Dalton, il padre della teoria atomica, contribuì a sollevare l'interesse per la visione anomala dei colori. Nel 1794, in un articolo presentato alla Manchester Literary and Philosophical Society, Dalton riferì di non vedere i colori come li vedevano altre persone: "Quella parte d'immagine che altri chiamano rossa appare a me poco più di un'ombra o mancanza di luce" e aggiungeva che l'arancione, il giallo ed il verde gli apparivano come "qualcosa che dovrei chiamare sfumature diverse di giallo". Oggi si definisce il daltonismo come l'incapacità di distinguere i colori nella regione dello spettro che va dal rosso al verde. Esso è dovuto alla mancanza di uno dei due coni che presenziano la visione del rosso e del verde rispettivamente. Vi sono soggetti che mancano di due tipi di coni: per essi la visione diurna appare in bianco e nero, come la visione notturna presieduta dai bastoncelli.

3.b.2. Orientamento spaziale dei microorganismi

Molti microorganismi mobili come i batteri, le alghe unicellulari ed i protozoi sono capaci di reagire a stimoli luminosi ambientali dovuti alla radiazione elettromagnetica solare, al fine di ottenere le migliori condizioni d'illuminazione per la loro crescita e per il loro metabolismo.

Nell'enorme varietà di microorganismi esistenti in natura, s'incontrano numerosi tipi di fotorecettori che presenziano la funzione d'orientamento spaziale.²⁴ Per esempio, fotorecettori come le rodopsine, in cui il processo fotoindotto è l'isomerizzazione del retinale tutto-trans a 13-cis retinale oppure la xantopsina nella quale il cromoforo è l'acido 4-idrossicinnamico ed il processo fotoindotto consiste in un'isomerizzazione del doppio legame C=C (vedi Fig.15).

L'elevata organizzazione strutturale supramolecolare che circonda i pigmenti fotoattivi, fa sì che il processo fotochimico iniziale induca la trasmissione del segnale con notevole effetto d'amplificazione.

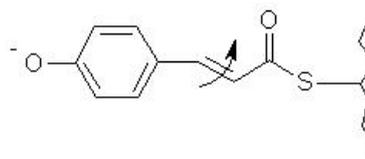


Fig. 15. Struttura molecolare dell'acido 4-idrossicinnamico contenuto in una tasca proteica della xantopsina

Il risultato finale consiste in una risposta comportamentale resa possibile da una specifica orientazione dell'apparato motore (flagelli o ciglia). La risposta comportamentale viene definita fototattica quando il microorganismo si avvicina (positiva) o si allontana (negativa) o si orienta perpendicolarmente (trasversa) nei confronti della direzione della luce. Quando varia l'intensità della luce, i microorganismi possono reagire con una risposta fotofobica, cioè arrestandosi e cambiando direzione e/o con una risposta fotocinetica, cioè variando la propria velocità di marcia, che può aumentare (fotocinesi positiva) o diminuire (fotocinesi negativa).

3.b.3 Orientamento spaziale delle piante

Le piante non sono organismi mobili, tuttavia esse sono in grado di alterare la propria forma e la propria orientazione spaziale al fine di ottimizzare l'esposizione alla luce solare. Lo sviluppo strutturale di un vegetale indotto dalla luce è detto fotomorfogenesi.²⁵ Ci sono diverse risposte fotomorfogenetiche, come la germinazione dei semi, l'induzione della fioritura, il trasporto di saccarosio, tanto per citarne alcune. Qualunque risposta fotomorfogenetica è indotta da luce rossa (con lunghezza d'onda intorno a 660 nm) ed è inibita da luce del lontano rosso avente lunghezza d'onda intorno a 730 nm.

Quest'uniformità di comportamento è dovuta alla presenza di un medesimo fotorecettore per tutti i tipi di fotomorfogenesi: il fitocromo. Il fitocromo è una proteina avente un'unità tetrapirrolica a catena aperta come cromoforo (vedi Fig.16). Quando la pianta è in assenza di luce, il fitocromo è nella forma P_r . Se P_r assorbe radiazione rossa, isomerizza nell'isomero P_{fr} . La forma P_{fr} ha un massimo d'assorbimento a 730 nm. Pertanto se la pianta è irradiata con luce appartenente al lontano rosso, P_{fr} si riconverte in P_r . La variazione strutturale che il cromoforo subisce nel passare da P_r a P_{fr} , induce variazioni conformazionali della proteina che lo include. In tal modo cambiano le proprietà leganti dell'apoproteina e quindi le sue capacità di espletare funzioni specifiche, che si traducono, per mezzo di una cascata d'eventi, in specifiche risposte morfogenetiche.

Le piante sono anche in grado di orientarsi verso la sorgente di luce per massimizzare la cattura dell'energia solare a fini fotosintetici. Tale attitudine è detta fototropismo.²⁶ Il fototropismo è regolato da una flavoproteina: la fototropina. Essa possiede una flavina come gruppo prostetico che è sensibile alla luce blu. Dopo l'assorbimento di radiazione, la flavina induce la produzione di specifici ormoni, le auxine, le quali si accumulano nelle cellule che si trovano dalla parte opposta rispetto alla posizione della sorgente luminosa. Le auxine provocano un allungamento delle cellule in cui si accumulano e quindi la pianta si piega verso la luce.

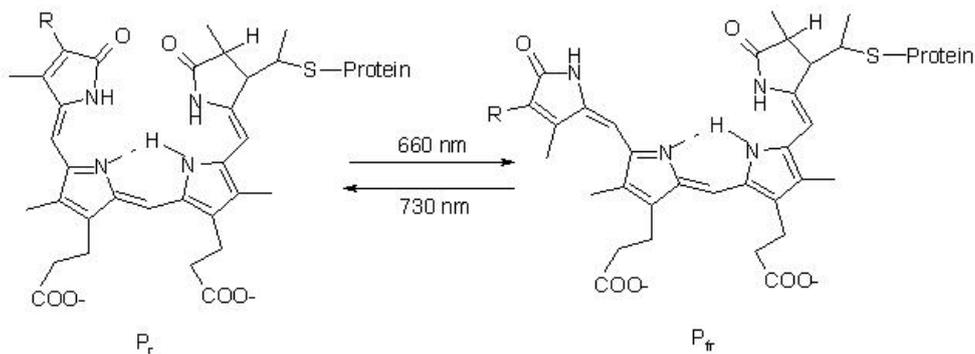


Fig. 16. Il fitocromo può sussistere nella forma strutturale P_r , che ha un massimo d'assorbimento a 660 nm, oppure nella forma P_{fr} , che ha un massimo d'assorbimento a 730 nm

3.b.4 Orientamento temporale degli esseri viventi

Molti processi fisiologici degli organismi viventi, come la regolazione della temperatura corporea e la produzione d'ormoni, sono periodici, cioè sono sotto il controllo d'orologi biologici interni. Questi orologi interni tendono a sincronizzarsi con il ciclo esterno giorno-notte, che ha un periodo di ventiquattro ore. La sincronizzazione avviene per mezzo di specifici fotorecettori proteici: i criptocromi e la melanopsina.^{27,28} La melanopsina possiede un solo cromoforo il quale consiste in un isomero del retinale, come nella rodopsina (vedi paragrafo 3.b.1). I criptocromi, invece, contengono due cromofori: una flavina e una pterina. La pterina funge da antenna, mentre la flavina da donatore elettronico, come nella fotoliasi. A differenza della fotoliasi, la quale svolge un'azione enzimatica nella riparazione dei danni al DNA provocati dai raggi UV (vedi paragrafo 3.a.3), i criptocromi interagiscono con specifiche proteine presenti nel nucleo delle cellule inducendo l'attivazione o l'inibizione di specifici geni responsabili di risposte fisiologiche periodiche. Nei mammiferi e quindi anche nell'uomo, i criptocromi e la melanopsina sono localizzati negli occhi come i fotorecettori che presenziano la visione. Tuttavia essi non sono presenti nei coni e nei bastoncelli, ma nelle altre cellule neuronali presenti sulla retina. Mentre coni e bastoncelli inviano il segnale luminoso percepito dall'esterno, alla corteccia visiva attraverso il nervo ottico, le informazioni acquisite dai criptocromi e dalla melanopsina vengono trasmesse ad una coppia di densi clusters neuronici, detti nucleo suprachiasmatico, situati nell'ipotalamo.

4. Conclusioni

Questa rassegna dimostra come il sole sia stato importante ai fini della comparsa della vita sul pianeta terra e come sia tuttora essenziale per il sostentamento d'ogni essere vivente. Se il sole non irraggiasse più la sua energia, cesserebbero tutti i processi vitali che direttamente o indirettamente dipendono dalla radiazione solare. Tutti i processi vitali che necessitano direttamente dell'energia solare per poter essere attivati, dispongono di una proteina fotorecettrice come elemento finalizzato all'assorbimento dei fotoni provenienti dal sole. L'assorbimento della radiazione avviene ad opera del gruppo prostetico, cioè una molecola organica o organometallica, incluso in un involucro proteico. La molecola organica o organometallica, in seguito all'assorbimento di un fotone, cambia le proprie proprietà elettroniche-strutturali. Essa dà, quindi, vita a

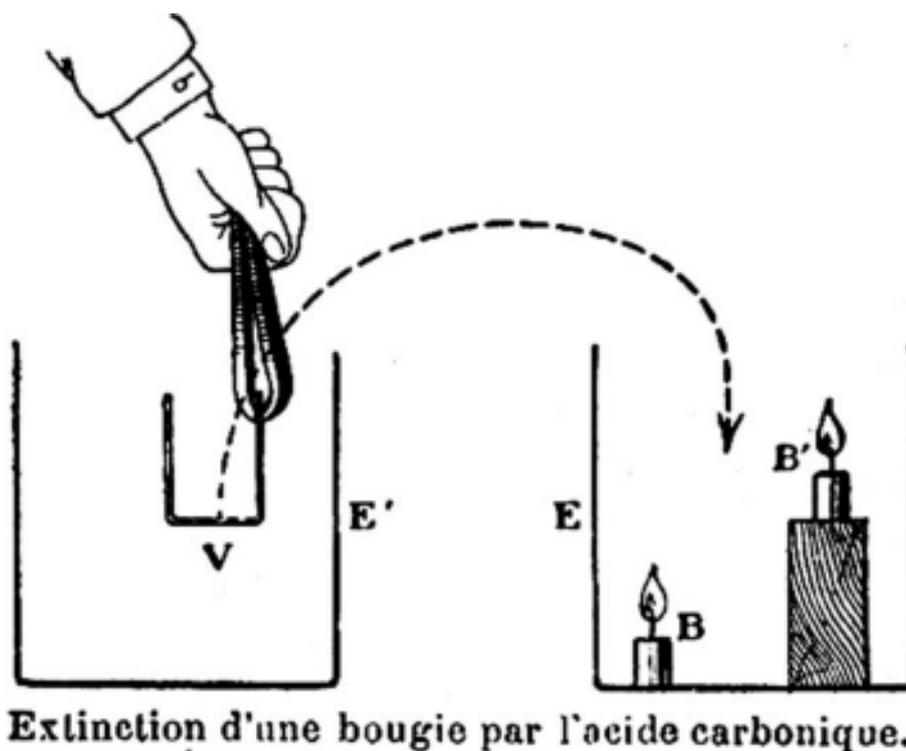
reazioni monomolecolari di isomerizzazione geometrica od a reazioni bimolecolari ossidoriduttive o di trasferimento di energia le quali hanno un effetto allosterico sull'apoproteina: essa, cioè, subisce un cambiamento conformazionale. A ciò fa seguito una cascata d'eventi molecolari che trasducono l'energia dei fotoni solari in energia elettro-chimica o in informazione, qualora la proteina fotorecettrice presenzia una funzione d'orientamento spaziale o temporale dell'essere vivente che la possiede. Quest'estrema funzionalità è resa possibile dall'armoniosa complessità strutturale e funzionale che costituisce una delle peculiarità d'ogni essere vivente.

Riferimenti e note

1. B. Accordi, E. L. Palmieri, Il globo terrestre e la sua evoluzione, Zanichelli, Bologna, 1991.
2. Da notare che non vi era O_2 e quindi neanche ozono ad esercitare un'azione schermante nei confronti dei raggi UV a più alta energia.
3. Si ricordi l'esperienza di Miller e Urey nella quale una miscela d'acqua bollente, metano, idrogeno ed ammoniaca sottoposta all'azione di raggi UV e scariche elettriche, diede vita ad amminoacidi.
4. Alcuni esponenti di questa teoria sono Orgel, Morowitz e de Duve.
5. L. B. Halstead, Alla ricerca del passato, DeAgostini, Novara, 1984.
6. I procarioti sono organismi il cui corredo genetico costituito dall'acido deossiribonucleico (DNA) non è racchiuso in un nucleo all'interno della cellula.
7. Esistono, tuttora, nelle sorgenti calde d'origine vulcanica, batteri fotosintetici che vengono avvelenati da ossigeno e che producono carboidrati (da cui ricavano energia per fermentazione) attraverso una foto-decomposizione d'acido solfidrico.
8. Numerosi dati molecolari sembrano confermare la bontà della teoria simbiotica anche per altre strutture subcellulari, ad esempio per i cloroplasti (organuli di cellule vegetali nelle quali avviene la fotosintesi). Tra l'altro, forme d'associazione tra organismi differenti sono osservabili anche nella nostra era: un classico esempio è costituito dai licheni (che risultano dalla simbiosi di un fungo con un'alga).
9. Per tali organismi la dipendenza dall'energia solare è per lo più indiretta.
10. Un'introduzione alla fotosintesi con interessanti prospettive nella ricerca sulla fotosintesi artificiale si trova nel sito web <http://photoscience.la.asu.edu/photosyn/education/photointro.html> e nell'articolo W. Vermaas, The World & I, 1998, 158.

11. Nei batteri verdi sono disposti in sacchetti.
12. 1 ps corrisponde a 10^{-12} secondi.
13. Anabolismo: metabolismo costruttivo. Generalmente nell'anabolismo piccole molecole precursori sono assemblate in molecole organiche più grandi.
14. Catabolismo: metabolismo distruttivo. In genere nel catabolismo molecole organiche più grandi sono decomposte in costituenti più piccoli.
15. Nel sito <http://www.biologie.uni-osnabrueck.de/biophysik/Feniouk/FAQ.html> vi sono dettagliate informazioni riguardanti l'ATP-sintasi fornite da B. Feniouk, del Dip. di Biologia dell'Università di Osnabrueck (Germania), il quale invita anche ad inviare quesiti sull'argomento.
16. L. Stryer, Biochimica, Zanichelli, Bologna, 1996.
17. M. Kolbe, H. Besir, L. O. Essen, D. Oesterhelt, Science, 2000, 288, 1390.
18. I raggi UV che raggiungono la superficie terrestre hanno lunghezze d'onda comprese tra 290 e 380 nm, cioè consistono

- di raggi UV-B (compresi tra 290 e 320 nm) e raggi UV-A (compresi tra 320 e 380 nm).
19. N. G. Jablonski, G. Chaplin, Le Scienze, 2002, 412, 59.
20. D. H. Hubel, Occhio, cervello e visione, Zanichelli, Bologna, 1998.
21. Q. Wang, R. W. Schoenlein, L. A. Peteanu, R. A. Mathies, C. V. Shank, Science, 1994, 266, 422.
22. Una resa di reazione pari a $\Phi=0.67$ implica che il 67 % dei fotoni, assorbiti dalle molecole di 11-*cis* retinale, è utilizzato per dare il prodotto di reazione retinale tutto - *trans*.
23. J. Nathans, Le Scienze Dossier, 2001, 9, 62.
24. A. Sgarbossa, G. Checcucci, F. Lenci, Photochem. Photobiol. Sci., 2002, 1, 459.
25. H. Duerr, H. Bouas-Laurent, Photochromism. Molecules and Systems, Elsevier, Amsterdam, 1990.
26. K. Sakamoto, W. R. Briggs, The Plant Cell, 2002, 14, 1723.
27. M. Menaker, Science, 2003, 299, 213.
28. R. G. Foster, Nature, 2005, 433, 698.



Una proposta didattica per l'introduzione del modello atomico a gusci

ROBERTO SOLDÀ*
ERMANNICO NICCOLI**

Riassunto

Nel presente lavoro viene presa in considerazione la proposta avanzata da Mirone riguardante l'uso didattico di un modello dell'atomo "a gusci" sostitutivo del modello orbitalico. Il modello a gusci didatticamente più praticabile pone al centro dell'attenzione l'energia di ionizzazione. Pertanto si ritiene importante che l'introduzione del nuovo modello sia preceduta da un intervento tendente a fare in modo che lo studente familiarizzi con il concetto di energia di ionizzazione; questo obiettivo viene perseguito attraverso una esercitazione di laboratorio. È altresì importante che l'apprendimento del nuovo modello da parte dello studente venga consolidato attraverso l'elaborazione di tabelle, l'interpretazione di grafici e la compilazione di questionari, operazioni che mettono in rilievo il carattere periodico del modello stesso.

1. Il modello atomico a gusci a partire dall'energia di ionizzazione

Nei testi scolastici di chimica in un recente passato l'energia di ionizzazione, in particolare di prima ionizzazione, veniva citata assieme ad altre grandezze come esempio di proprietà periodica. Nei medesimi testi la struttura dell'atomo veniva illustrata ricorrendo al concetto di orbitale, oltre che ad alcuni principi e regole (di costruzione delle strutture elettroniche, di indeterminazione, di esclusione, di Hund). Ne scaturiva una visione assai complessa, didatticamente quasi impraticabile.

L'impossibilità di entrare nel merito della meccanica quantistica rende arduo l'uso dei corrispondenti modelli matematici e diviene inevitabile il ricorso a un eccesso di metafore e di similitudini cioè a una didattica poco efficiente in quanto troppo approssimativa e soprattutto inefficace perché scarsamente incisiva. Alcuni insegnanti insistono nell'errore perché il modello orbitalico offre l'illusione di operare con rigore logico e completezza di rappresentazione.

Questa situazione è stata denunciata da Mirone in un articolo comparso su questa rivista nel 1987¹, dove si sottolinea che il modello orbitalico avulso dal suo contesto teorico e presentato in maniera puramente descrittiva perde gran parte del suo reale significato. Per inciso si

può osservare che il concetto di orbitale non può nemmeno essere sostituito dal concetto di orbita la quale cosa contraddirebbe il principio di indeterminazione.

Nel suo articolo Mirone in sostituzione del modello orbitalico propone un "modello atomico a gusci". Questa rappresentazione scaturisce direttamente dall'esame della variazione delle energie di progressiva ionizzazione dei vari atomi al crescere del numero atomico.

Per un esame dettagliato della proposta si rimanda naturalmente all'articolo originale, tuttavia come sottolinea lo stesso autore, già dall'esame dello schema riportato in figura 1 ci si rende conto che le energie di progressiva ionizzazione dei vari atomi tendono a raggrupparsi in fasce e quindi, poiché la distanza di un elettrone dal nucleo è tanto minore quanto maggiore è l'energia che lo lega al nucleo stesso, anche gli elettroni si distribuiranno in fasce o gusci.

L'utilità didattica della figura 1 è duplice: mentre la pura e semplice osservazione dello schema fa già intuitivamente intravedere un modello "a gusci", tale modello può essere deduttivamente ricavato ragionando sulla distribuzione dei livelli energetici.

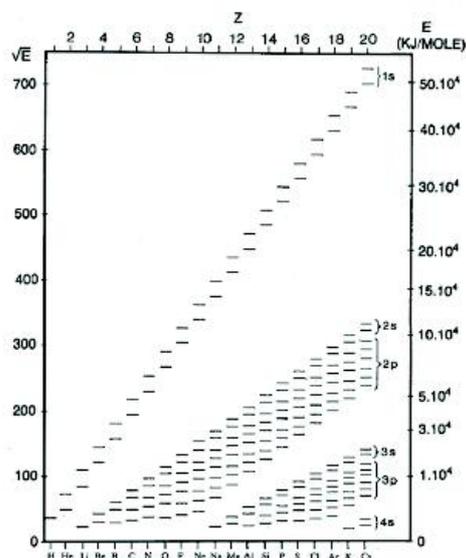


Fig.1 - Energie di progressiva ionizzazione dei primi 20 elementi della tavola periodica. Notare che per ragioni grafiche la scala dell'asse delle ordinate è proporzionale alla radice quadrata dell'energia.

Sotto il profilo della programmazione la conseguenza più immediata di questa impostazione è che **le energie di ionizzazione degli atomi assumono una maggiore rilevanza** rispetto al passato, quando questa grandezza

* roberto.solda@libero.it

** e.niccoli@tiscalinet.it

¹ P.Mirone, CnS - La Chimica nella Scuola, 1987, 9,12.

veniva sommariamente presentata assieme ad altre al solo scopo di illustrarne il carattere periodico.

Ad ogni buon conto vale la pena sottolineare che il modello atomico a gusci come qualsiasi altro modello è per sua natura parziale²; infatti nella sua proposta Mirone fa notare che il modello rappresenta in maniera eccellente la distribuzione radiale degli elettroni mentre per rappresentare la distribuzione angolare, bisogna ricorrere ad un altro modello (VSEPR).

Inoltre nella presentazione del modello a gusci si fa un rapido cenno all'azione schermante esercitata dagli elettroni sul campo elettrico del nucleo, senza peraltro introdurre e utilizzare il concetto di "carica nucleare efficace". La carica nucleare efficace ha carattere periodico: probabilmente l'approfondimento di questo aspetto offrirebbe ulteriori elementi di comprensione del modello a gusci ma amplierebbe l'argomento, appesantendo eccessivamente il lavoro didattico. Molto meglio, come suggerisce Mirone, attenersi al dato sperimentale (fig.1) di per se stesso incontrovertibile.

Un' ultima osservazione riguarda l'introduzione delle notazioni s , p e d che inevitabilmente in classe richiederanno un approfondimento.

Come si può vedere il dimensionamento di un argomento a scopi didattici è sempre difficile e per certi versi delicato, la mediazione che si deve compiere, per adeguare la complessità di un argomento scientifico alle capacità cognitive degli studenti e alla loro preparazione pregressa, richiede da parte degli insegnanti piena padronanza degli argomenti e molta professionalità.

Per tutte queste ragioni riteniamo che l'introduzione dell'energia di ionizzazione e quindi del modello a gusci richieda di essere accompagnata da alcune operazioni; in particolare si deve:

- > verificare con cura che gli alunni siano in possesso dei prerequisiti necessari per accedere ai nuovi concetti;
- > operare con interventi di didattica attiva affinché il concetto di energia di ionizzazione, prima di essere utilizzato come strumento esplicativo, divenga "familiare" all'alunno;
- > consolidare successivamente, sempre con interventi di didattica attiva, l'acquisizione del nuovo modello;
- > fare in modo che l'alunno divenga consapevole della natura del proprio apprendimento ossia passi ad una forma di metacoscienza.

La necessità di acquisire familiarità con i concetti fondamentali è costantemente sottolineata dai pedagogisti ma spesso ignorata dagli insegnanti³.

Il consolidamento del concetto assicura una persistenza nel tempo dell'apprendimento. La metacoscienza aiuta l'alunno a riflettere sulla natura e la qualità del proprio lavoro.

Le attività utili a favorire questi processi sono varie: compiere esercitazioni di laboratorio, compiere ricerche bibliografiche, svolgere calcoli, rappresentare graficamente e analizzare determinate grandezze, esaminare il concetto in contesti diversi, risolvere problemi, discutere in gruppo i risultati raggiunti e così via.

² E. Niccoli, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2003, **25**, 108.

³ Paradossalmente questo modo di procedere è presente nelle attività quotidiane dove per raggiungere un uso esperto di un concetto o di uno strumento non basta che questo venga presentato e descritto dettagliatamente, ma si richiede che l'utente "faccia pratica" ossia che familiarizzi praticando ripetutamente il concetto o lo strumento stesso.

Queste attività costituiscono appunto la cosiddetta didattica attiva.

A causa della limitatezza delle risorse (tempo, strutture, attrezzature, competenze ecc.) l'insegnante si viene spesso a trovare tra l'incudine ed il martello, dove l'incudine è rappresentata dall'efficacia del suo insegnamento (didattica attiva, coinvolgente ma che richiede tempi lunghi) ed il martello dall'efficienza dell'insegnamento stesso (didattica frontale, veloce ma meno coinvolgente)⁴.

2. Un approccio sperimentale all'energia di ionizzazione

L'approccio sperimentale all'energia di ionizzazione dovrebbe precedere l'introduzione del modello a gusci, è circoscritto ad una sola misura e serve esclusivamente a familiarizzare con il concetto di energia di ionizzazione.

L'energia di ionizzazione di un elemento si può determinare bombardandone il vapore con elettroni la cui energia cinetica sia con buona approssimazione nota. Come fare per ottenere un fascio di elettroni di energia cinetica nota? In un tubo di scarica contenente il gas in esame a bassa pressione, si ottiene un fascio di elettroni la cui energia cinetica può essere fatta aumentare incrementando il voltaggio applicato agli elettrodi del tubo.

Per fare ciò si effettua una regolazione non molto diversa da quella che fa variare la brillantezza del nostro televisore, dove per ottenere un'immagine più brillante, cioè elettroni con maggior energia si aumenta il voltaggio applicato al cinescopio: il riferimento al televisore è un espediente sempre utile per ottenere l'attenzione degli allievi.

Si noti che l'energia di ionizzazione e quindi la struttura atomica viene quasi sempre introdotta con lezioni frontali poiché si ritiene che l'introduzione sperimentale richiederebbe una strumentazione particolarmente costosa ed accessibile solo a poche scuole. Perciò è abbastanza importante mostrare agli allievi come sia possibile ottenere informazioni sull'energia di ionizzazione anche con mezzi molto semplici.

A questo scopo si propone la determinazione dell'energia di ionizzazione per mezzo di bombardamento elettronico di un gas inerte quindi monoatomico, la qual cosa può essere realizzata con materiali poco costosi e di facile reperibilità.

In letteratura sono disponibili due esperimenti, entrambi proposti per le scuole medie superiori e il primo anno di università.

Un esperimento di questo tipo è stato proposto dal Nuffield Advanced Science ed è stato testato e divulgato alcuni anni fa da altri autori^{5,6}. Per l'esecuzione di questo esperimento si rimanda alle fonti citate.

L'esperimento che segue viceversa è tratto da alcune note sperimentali del "Physics Apparatus-Philip Harris", redatte a suo tempo in collaborazione con il Nuffield Advanced Science.

In figura 2 è riportato lo schema del circuito utilizzato per il primo esperimento.

Il circuito riportato in figura 2 è realizzabile con materiali poco costosi e può essere facilmente assemblato da parte degli stessi ragazzi, una volta che sia stata illustrata

⁴ E. Niccoli, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2005, **27**, 106.

⁵ R.Cervellati, D. Perugini, *CnS - La chimica nella Scuola*, 1980, **2**, 27.

⁶ R. Cervellati, D. Perugini, *Guida alla didattica della chimica*, Zanichelli, Bologna, 1987.

adeguatamente la funzione dei vari componenti e sia stata fornita la fotocopia dello schema.

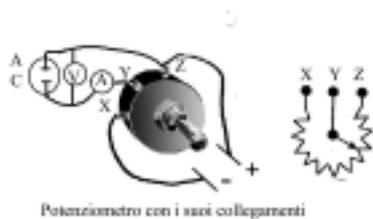
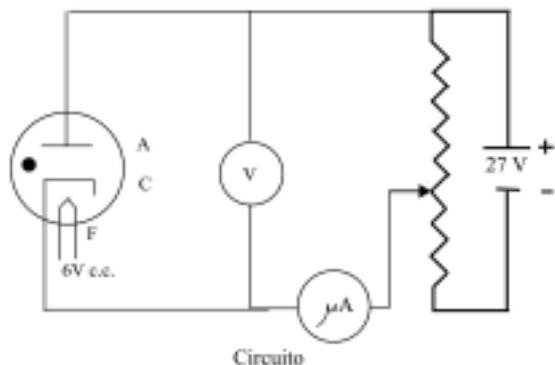


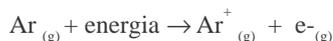
Fig. 2

Esso consente di determinare il potenziale di prima ionizzazione del gas nobile argon⁷ a bassissima pressione ed il principio di funzionamento è accessibile anche ad allievi con elementari conoscenze di fisica.

In questo caso il triodo ad argon viene fatto funzionare come un diodo a gas collegando l'anodo (placca) al polo positivo e il catodo al polo negativo della pila alimentatrice del circuito e lasciando scollegata, cioè inattiva la griglia. Il catodo, riscaldato dal filamento con una tensione costante, emette elettroni per effetto termoelettronico.

Quindi aumentando gradualmente la differenza di potenziale, applicata tra il catodo C e l'anodo A, mediante il potenziometro (si può usare un comunissimo potenziometro a basso costo), si incrementa la velocità e perciò l'energia cinetica degli elettroni emessi dal catodo fino ad un valore sufficiente da poter espellere per urto, l'elettrone meno fortemente legato da ogni atomo di gas colpito.

Il processo di collisione può essere schematizzato come segue :



e, poiché in questo caso, la ionizzazione del gas è accompagnata dall'innescò della scarica a bagliore, si osserva un brusco aumento di corrente segnalato dal microamperometro.

Dalla differenza di potenziale applicata, moltiplicando la differenza di potenziale in V per la carica di una mole di elettroni cioè 96485 C/mol, si può risalire all'energia di prima ionizzazione del gas (in J/mol).

A questo proposito è da notare che la differenza di potenziale di ionizzazione sarà rilevata nel momento in cui nella valvola si nota emissione di luce.

Materiale occorrente

> una valvola thyatron 884, contenente argon a bassissima pressione (di solito in dotazione al laboratorio di fisica

o comunque reperibile presso alcuni negozi di componenti elettronici);

> un portavalvola per la valvola suddetta, con le bocche predisposte per i collegamenti al catodo ed all'anodo;

> un tester digitale, da usare come microamperometro (fondo scala 2000 μA);

> un tester digitale, da usare come voltmetro (fondo scala 30 V);

> un potenziometro a carbone (resistore variabile) a variazione lineare da 4700 Ω, reperibile presso i rivenditori di componenti elettronici "surplus";

> tre pile da 9 V, collegate in serie, per alimentare il circuito;

> un alimentatore-trasformatore per l'alimentazione del filamento a 6V;

> fili elettrici e spinotti per i collegamenti e l'assemblaggio del circuito.

Procedimento

Dopo avere assemblato il circuito come mostrato in figura 2, si ruota lentamente la "manopola" del potenziometro, aumentando gradualmente il voltaggio ed osservando sia il tester usato come voltmetro sia quello usato come microamperometro.

Quando si osserva un brusco incremento di corrente (in prossimità del potenziale di ionizzazione si ha un salto di intensità di corrente da circa 50μA a circa 1500 μA) si interrompe l'esperimento annotando la differenza di potenziale rilevata.

Il potenziale rilevato 17,3 V è comunque lo stesso che si può osservare anche, senza il microamperometro, al momento dell'emissione di luce color lilla e differisce del 10% dal valore 15,75 riportato in letteratura.

3. Energie di prima ionizzazione: elaborazione dei dati

Questa esercitazione comporta l'elaborazione e la discussione di una serie di dati sperimentali, ha lo scopo di consolidare i concetti acquisiti relativi al modello a gusci e viene quindi svolta dopo che tale modello è stato introdotto.

A tale proposito può essere utile che gli studenti svolgano una semplice ricerca bibliografica su testi di chimica di buon livello, che si procurino i valori delle energie di prima ionizzazione, per esempio, dei primi 36 elementi e quindi che costruiscano il grafico corrispondente.

L'analisi del grafico ottenuto, condotta con l'aiuto dell'insegnante, si traduce in una lezione molto interattiva e in una serie di osservazioni che troveranno la loro naturale spiegazione nel modello atomico a gusci.

Vediamo le competenze che gli studenti devono possedere e gli obiettivi che devono perseguire nell'ambito di questa operazione.

Competenze:

> scrivere la configurazione elettronica di un elemento nella notazione *s, p, d*;

> riconoscere il carattere periodico di una grandezza;

> interpretare correttamente almeno una parte delle notazioni riportate nella tavola periodica;

> essere in grado di porsi domande e compiere procedimenti inferenziali relativi a serie di dati sperimentali;

> saper utilizzare il computer e programmi tipo Microsoft Excel.

Obiettivi

> apprendere che le energie di prima ionizzazione variano con andamento periodico all'aumentare di Z;

⁷ Sono reperibili in commercio valvole radio a gas contenenti altri gas inerti che permettono di ampliare l'esperienza.

- > collegare la configurazione elettronica dei primi 36 elementi all'andamento periodico delle energie di prima ionizzazione;
- > formulare qualche ipotesi relativa all'andamento delle energie di prima ionizzazione dei metalli della prima serie di transizione;
- > cogliere l'importanza del livello $3d$ nella serie dei metalli della prima serie di transizione;
- > potenziare le competenze metacognitive anche in funzione del "piacere" della scoperta.

Materiali

- > tabella n.1 delle energie di prima ionizzazione di primi 36 elementi;
- > tavola periodica riportante anche le configurazioni elettroniche di tutti gli elementi;
- > libri di chimica generale e libro di testo in dotazione;

- > computer con programma Microsoft Excel.

Procedimento

Per la trattazione di questo argomento, è consigliabile che gli studenti operino in piccoli gruppi seguendo un itinerario didattico analogo a quello che di norma si segue per svolgere un'attività sperimentale.

Gli allievi dopo essersi procurati, tramite una semplice ricerca bibliografica⁸, i valori delle energie di prima ionizzazione espresse in MJ/mol degli elementi da $Z = 1$ a $Z = 36$, li ordinano in una tabella (Tabella 1) e costruiscono il grafico relativo, utilizzando il programma Excel di Microsoft (figura 3). Inoltre ai ragazzi vengono forniti una tavola periodica riportante anche le configurazioni elettroniche di tutti gli elementi. Infine, si mette a disposizione di ogni gruppo una scheda con opportuni quesiti e si propone agli allievi di completare tale scheda.

Tabella 1

Energie di prima ionizzazione dei primi 37 elementi			
Numero atomico	E_1 (MJ mol ⁻¹)	Numero atomico	E_1 (MJ mol ⁻¹)
1	1,312	19	0,419
2	2,373	20	0,59
3	0,52	21	0,631
4	0,899	22	0,658
5	0,809	23	0,65
6	1,086	24	0,653
7	1,4	25	0,717
8	1,314	26	0,759
9	1,68	27	0,758
10	2,08	28	0,737
11	0,496	29	0,745
12	0,732	30	0,906
13	0,578	31	0,579
14	0,786	32	0,762
15	1,012	33	0,946
17	1,251	35	1,139
18	1,521	36	1,303
		37	(0,403*)

**Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press–Div. of Chem. Rubber, Cleveland 1972, pag. E56.

⁸ R. J. Gillespie, D. A. Humphreys, N. Colin Baird, E. A. Robinson, *Chimica*, Società Editrice Scientifica, Napoli 1990



Fig. 3

Per controllare il processo di apprendimento ed al fine di individuare una strategia per l'eventuale riordino delle trame concettuali, si stimola il ragionamento assegnando compiti e quesiti dei quali può essere utile riportare di seguito qualche esempio.

Comunque, alla fine dei lavori di gruppo devono seguire la discussione ed il commento delle risposte.

Infatti la pratica del commento e della discussione collettiva guidata dall'insegnante, in riferimento all'argomento proposto ed in collegamento con le conoscenze e competenze pregresse, oltre ad avere lo scopo di coinvolgere attivamente gli studenti, costituisce una strategia pedagogico-didattica molto idonea in ordine allo sviluppo delle capacità metacognitive.

Quesiti e compiti

1) Utilizzando la tabella n.1 e il programma Excel, rappresenta graficamente E_1 in funzione di Z per gli elementi da Z=1 a Z=36 e spiega come hai operato.

2) Esaminando il grafico E_1/Z quali regolarità e quali irregolarità osservi? Stabilisci una correlazione tra la configurazione degli atomi in termini di livelli s, p, d e l'andamento del grafico.

3) Il grafico E_1/Z ha un andamento alterno e quindi presenta dei valori massimi e dei valori minimi. A quali elementi e quindi a quali configurazioni nonché a quali caratteristiche chimiche corrispondono i valori minimi? A quali i valori massimi?

4) Se con una linea si congiungono i valori dell'energia di ionizzazione corrispondenti a Z=2, 10, 18, 36, che cosa si osserva? Quale significato chimico ha l'andamento della curva così tracciata?

5) Se si compie la stessa operazione per i valori Z=3, 11, 19, 37 che cosa si osserva? Quale significato chimico ha l'andamento della curva così tracciata?

6) Confrontando il grafico E_1/Z relativo al quarto periodo con quelli relativi al secondo e al terzo periodo, quali sono le somiglianze e differenze in generale?

54

7) Se artificialmente immaginiamo di tagliare verticalmente il grafico a livello di Z=20 e a livello di Z=31 e si

congiungono il primo ed il terzo spezzone, escludendo l'intermedio, che cosa si osserva? Che cosa suggerisce tale modifica per quanto riguarda lo spezzone che va da Z=21 a Z=30?

8) Quali concetti appresi nella trattazione del modello atomico a gusci hai dovuto richiamare e rivedere per rispondere alle domande precedenti e quali perplessità e dubbi hanno suscitato tali domande?

9) Utilizzando la tavola periodica che riporta anche le configurazioni elettroniche di tutti gli elementi, rileva le strutture elettroniche di tutti gli elementi del quarto periodo e quindi spiega come si possa motivare la differenza tra i metalli di transizione e gli altri elementi dello stesso periodo.

A questo punto per un migliore consolidamento di quanto appreso gli studenti possono proseguire la ricerca bibliografica sui testi di Chimica Generale e su Internet per raccogliere almeno in parte i valori delle successive energie di ionizzazione relative sempre ai primi 20 elementi, cioè le energie di seconda, terza, quarta ionizzazione e così via.

Se ne ricava una serie di dati del tipo riportato in Tabella 2.

Gli alunni, tenuto eventualmente conto delle differenti unità di misura usate, potranno costruire per le varie energie di ionizzazione dei grafici analoghi a quello riportato in figura 3, potranno inoltre compiere dei calcoli per verificare la coerenza dei dati raccolti rispetto a quanto riportato in figura 1 e ragionare sui dati raccolti per quanto concerne i valori più o meno elevati delle varie energie di ionizzazione.

Tabella 2

Elemento	Energie di ionizzazione degli elementi dei primi tre periodi (eV)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
H	13,6							
He	24,6	54,4						
Li	5,4	75,6	122,4					
Be	9,3	18,2	153,9	217,7				
B	8,3	25,1	37,9	259,3	340,1			
C	11,3	24,4	47,9	64,5	392,0	489,8		
N	14,5	29,6	47,4	77,5	97,9	551,9	666,8	
O	13,6	35,1	54,9	77,4	113,9	138,1	739,1	871,1
F	17,4	35,0	62,6	87,2	114,2	157,1	185,1	953,6
Ne	21,6	41,1	64,0	97,2	126,4	157,9		
Na	5,1	47,3	71,7	98,9	138,6	172,4	208,4	264,2
Mg	7,6	15,0	80,1	109,3	141,2	186,9	225,3	266,0
Al	6,0	18,8	28,4	120,0	153,8	190,4	241,9	285,1
Si	8,1	16,3	33,4	45,1	166,7	205,1	246,4	303,9
P	11,0	19,7	30,2	51,4	65,0	220,4	263,3	309,3
S	10,4	23,4	35,0	47,3	72,5	88,0	281,0	328,8
Cl	13,0	23,8	39,9	53,5	67,8	96,7	114,3	348,3
Ar	15,8	27,6	40,9	59,8	75,0	91,3	124,0	143,5

Dati provenienti da: P. Chieccoli, *Fondamenti di Chimica*, Torino, UTET Ed., 1975

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione il Dirigente Scolastico prof. Manrico Traversa, la prof. Livia Mercato, il prof. Giuseppe Feragotto e i periti tecnici: sig. Dino Lirussi, sig. Bartolomeo Di Lorenzo e sig. Raffaele Adornato, dell'IPSIA "G. Ceconi" di Udine.



Il malessere disciplinare

di Ermanno Niccoli

Gentile collega, non so se ti sia giunto l'eco delle accese discussioni che hanno avuto luogo all'interno del Direttivo della Divisione di Didattica. Esse vertevano fra l'altre cose sul ruolo che attualmente svolgono o in futuro potranno svolgere i laureati in chimica nel campo dell'insegnamento, tenuto conto della discussa "riforma Moratti".

Inutile dire che il primo istinto ci spingerebbe a scendere in trincea al grido di "la chimica ai chimici, depositari unici delle conoscenze chimiche!", ma poi una riflessione più attenta ci fa comprendere che il problema è un poco più complesso e non può essere tagliato alla maniera del nodo gordiano.

L'insegnamento della chimica si effettua a vari livelli con caratteristiche diverse.

Alla scuola media la chimica fa parte di un pacchetto di conoscenze multidisciplinari che viene somministrato a discenti cognitivamente immaturi: tale insegnamento, a parer mio difficilissimo, è aperto anche ai chimici.

Nei licei l'insegnamento della chimica eredita in parte dalla scuola media la caratteristica multidisciplinare, quasi che fosse una disciplina di servizio: questo insegnamento in passato, a seconda delle disposizioni ministeriali del momento, è stato parzialmente accessibile anche ai chimici, conosco infatti alcuni laureati in chimica che hanno onorevolmente insegnato su questa cattedra, affrontando discipline, quali le scienze naturali, per le quali non erano stati assolutamente preparati; sul versante opposto questa situazione ha prodotto in alcuni naturalisti una sorta di delirio di onnipotenza che li ha indotti (permettetemi la rievocazione di un ricordo spiacevole), presenti alcuni rappresentanti ministeriali, a proclamarsi unici depositari del sapere chimico.

Rimane infine la chimica degli istituti tecnici e professionali, svolta da sempre dai chimici nella pienezza delle loro competenze ma letta dai funzionari ministeriali come pure e semplici tecniche di laboratorio.

Per il futuro con le lauree abilitanti oppure con l'istituzionalizzazione delle SSIS sembra che le cose cambieranno anche per i chimici.

Possibile si chiedono i chimici-insegnanti (tanto per distinguerli dagli insegnanti di chimica), fautori della purezza della disciplina, che la chimica sia questo oggetto culturalmente sfuggente continuamente in bilico tra disciplina di servizio, disciplina applicativa o disciplina *tout court*? In realtà il "malessere disciplinare" non emerge solamente nella scuola, è di più ampie proporzioni e investe soprattutto l'Università: in alcuni paesi, tra cui l'Italia, il problema è strisciante, dissimulato, negato, sotterraneo e filtra attra-

verso le maglie di riforme *ad hoc* o di pseudoriforme. In altri paesi tra cui l'Inghilterra la crisi si sviluppa alla luce del sole con evidenze clamorose e forse è il caso di esaminare che cosa succede oltre la Manica per capire meglio che cosa succederà a casa nostra.

Esattamente un anno fa nel n.1 di CnS 2005 riferivo di avere letto tra le *News di Chemistry World*¹, una rivista della Royal Society of Chemistry (RSC) che corrisponde alla nostra Società Chimica Italiana, alcune note allarmanti per quanto riguardava le sorti della chimica inglese, ora a distanza di un anno ritrovo sulla stessa rivista² ulteriori sviluppi della situazione e notizie circa l'affannosa ricerca di adeguate soluzioni.

L'articolo si apre con una domanda drammatica e volutamente provocatoria: la chimica ha i giorni contati? Seguono alcune informazioni assai poco rassicuranti.

Negli ultimi anni oltre quindici dipartimenti di chimica inglesi sono stati chiusi, di conseguenza un crescente numero di chimici universitari si sono trasferiti nelle divisioni di chimica biologica e di microbiologia molecolare. Taluni pensano che quanto avviene al momento attuale rappresenti una naturale evoluzione della chimica e già stanno emergendo alcuni vantaggi ad operare all'incrocio tra discipline diverse, tuttavia la chimica rischia di divenire una disciplina di servizio.

Un giudizio molto severo proveniente da fonte autorevole afferma che gli attuali assetti della chimica inglese non solamente sono inefficienti ma sono incrinati e fuori gioco, che la chimica continua ad essere un approdo essenziale e ineludibile per tutte le discipline scientifiche di base ma non ne costituisce la corrente di pensiero principale e probabilmente non lo sarà mai.

Tentativi di aggiustamento non sono mancati e alcune iniziative locali rivestono un certo interesse, ad esempio si tende a mantenere in vita i dipartimenti di chimica di università prestigiose che raggiungono livelli di eccellenza internazionale e a trasformare in università regionali i dipartimenti che raggiungono solamente livelli di eccellenza nazionale. Queste sarebbero destinate a sostenere l'innovazione e la ricerca delle industrie locali e a facilitare la frequenza degli studenti della regione.

Una presenza regionale strategica viene anche raccomandata dal Comitato per la Scienza e per la Tecnologia della Camera dei Comuni oltre che dalla Royal Chemical Society. Alcuni cambiamenti stanno dando risultati interessanti.

L'università di Dundee, ad esempio, ha chiuso il suo dipartimento di Chimica Inorganica e Chimica Fisica e ha trasferito i suoi laboratori nella facoltà di Scienze della Vita; la

laurea in Chimica che negli ultimi anni attraeva di norma quattro studenti, è stata rimpiazzata con la laurea in Chimica Farmaceutica che ha richiamato immediatamente quattordici studenti, ma si prevede che diventeranno 20-25 nel prossimo futuro.

A queste note vorrei aggiungere (per l'ennesima volta) l'osservazione che negli ultimi anni, sempre più frequentemente i premi Nobel per la chimica vanno a ricercatori che operano in centri di ricerca afferenti alla medicina o a dipartimenti di scienze.

Credo che tutto ciò mostri chiaramente una evoluzione del ruolo e del significato della chimica che finirà per avere una ricaduta anche sulla chimica italiana e quindi sull'insegnamento nella nostra scuola secondaria.

Gentile collega, tutto sommato penso che, ferma restando la ricerca di base per i centri italiani di grande eccellenza, se si scoprirà che la chimica rappresenta una struttura portante per tutte le altre discipline scientifiche, ci guadagnerà in importanza, naturalmente il processo di cambiamento dovrà essere letto correttamente e non in modo fazioso come spesso si usa da noi.

Morale: non chiudiamoci in un ottuso corporativismo e cerchiamo di capire la naturale evoluzione della cultura chimica. Con questa nota di ottimismo ti lascio e ti invio i miei saluti.

¹ *Chemistry Word*, **1**, 9 (2005)

² *Chemistry Word*, **2**, 36 (2006)

LETTERA A CnS

Egregio Prof. Riani,

il notevole ritardo con cui la A.I.C. invia questo scritto è da attribuirsi al fatto che il suo editoriale pubblicato sul numero 3 del periodico CNS, ci è pervenuto a fine dicembre 2005..

Impegni vari di noi docenti hanno poi fatto sì che il ritardo si accentuasse.

Per entrare nell'argomento del suo editoriale, desideriamo specificare che non necessariamente posizioni che appaiono "corporative" sono tali. Occorre, infatti, considerare il contesto più generale.

La A.I.C. nasce nel contesto di una controversia che certamente aveva risvolti sindacali, ma che più profondamente riguardava problemi formativi e culturali molto importanti.

Architetti, Odontoiatri, Ingegneri Aeronautici, ecc., che venivano nominati per l'insegnamento della Chimica.

Non è indifferente, sul piano della formazione culturale degli studenti, che ad insegnare Chimica fossero laureati che in molti casi avevano una limitata o quasi nulla formazione universitaria

della disciplina, né potevano servire a questo scopo i cosiddetti corsi di "Riconversione" che sono stati un modo di salvare la faccia alla sostanza. Quasi chiunque poteva insegnare Chimica in questo Paese!

In questa condizione la richiesta che fossero dei chimici ad insegnare la Chimica coincideva con l'affermazione del diritto degli studenti ad avere una formazione culturale non distorta e incompleta e con il rifiuto proprio di quel pensiero "decrepito" che svaluta il sapere scientifico in generale e relega la Chimica all'ultimo posto della altrettanto decrepita gerarchia disciplinare.

Un modello che ancora insiste sul senso comune e manifestamente a livello ministeriale. Basti pensare alla eliminazione dell'insegnamento della Chimica da alcuni indirizzi scolastici, fino ad arrivare alla infelicitissima uscita su Darwin.

La A.I.C., per quanto può e con la forza che ha, è da sempre impegnata nella valorizzazione culturale e nel rinnovamento dell'immagine pubblica della Chimica, nel supporto agli insegnanti Chimici e non Chimici a tutti i livelli

scolastici, nell'affermazione dell'importanza formativa della Chimica.

Tutto questo tenendo ben presente che la causa della Chimica non può che essere considerata all'interno del più complessivo problema della formazione scientifica generale.

Pertanto per le precedenti considerazioni non ci sembra corrispondere a verità l'essere assimilati ad un "Sindacato" di insegnanti. La A.I.C. non può e non vuole esserlo; la sua azione è essenzialmente culturale ed è da questo punto di vista che critica decisioni ministeriali che diminuiscono il diritto ad una formazione scientifica corretta e completa e mortificano il valore della Chimica e degli insegnanti Chimici.

Distinti saluti

Giuseppa Mauro
Presidente A.I.C

Francamente non voglio intraprendere la difficile operazione di stabilire chi sia corporativo e chi non lo sia: ho espresso un parere che penso legittimo, riporto integralmente l'opinione (anche essa evidentemente legittima) espressa dal presidente AIC e al riguardo qui mi fermo.

Resta però il dato di fatto da me evidenziato nell'editoriale contestato: fisici e biologi - naturalisti sono tantissimi, e sono rappresentati da un'associazione per uno; i chimici sono pochi e possono scegliere fra tre associazioni. Ho l'impressione che, in situazioni come questa, il pluralismo (?) non sia particolarmente auspicabile; forse sarebbe bene pensarci un po' sopra.

Pierluigi Riani
Direttore di CnS

Il Cammino della Chimica

dalle origini alla nascita della chimica moderna

Arnaldo Peloso

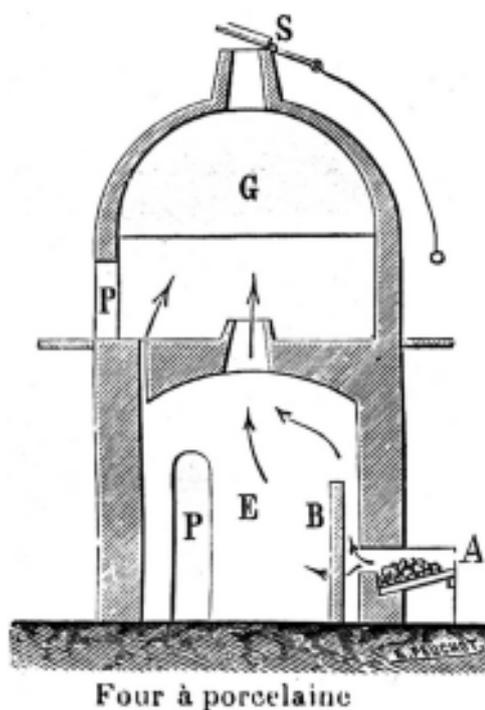
Edizioni Libreria Progetto, Padova, 2005 Pag. 220, Brossura, Euro 15,00

La famosa frase “La Repubblica non ha bisogno di scienziati, bisogna che la giustizia segua il suo corso”, attribuita a Coffihai il Presidente del Tribunale che condannò a morte Lavoisier, è del tutto leggendaria e non esistono né documentazioni né sicure testimonianze che l'accreditino. Anzi, il senso di quella frase era stato in precedenza contraddetto dall'Assemblea Nazionale che l'8 maggio 1790 aveva incaricato l'Académie Royale des Sciences di elaborare quel sistema uniforme di pesi e misure da cui sarebbe nato l'attuale Sistema Internazionale di Unità. Tutto ciò si sapeva, come si sa che l'invidia e l'inimicizia influiscono sui giudizi umani, ma è utile trovare questa precisazione in un libro che non pretende di essere un saggio di storia della chimica. Il compito di “togliere di mezzo una leggenda” è affidato a un'ideale personificazione della Chimica, cui si dà voce in diciannove riquadri separati dalla narrazione, affinché metta in rilievo i propri meriti e racconti qualche aneddoto di cui è stata protagonista. E' un'idea originale che oltre a correggerne l'immagine distorta ha lo scopo di collegare fra loro teorie e concetti che l'evoluzione del pensiero scientifico sembrava aver reso incompatibili. Così, nel II capitolo dedicato alle idee sulla costituzione della materia secondo gli antichi filosofi greci, *la Chimica dice la sua* a proposito di Talete, Anassime ed Eraclito, confrontando le loro ipotesi con alcuni concetti formulati nell'ambiente scientifico moderno, da William Prout (1785-1850) in poi. Il lettore è indotto a riflettere sull'acuta osservazione che la nozione di *apeiron* (l'illimitato) di Anassimandro (ca. 610-546 a.C) ricorda quel particolare *nucleo superdenso* da cui in seguito al *big bang* si sarebbe originato, secondo le teorie correnti, l'intero universo. Altre riflessioni stimolerà il paragrafo dedicato al flogisto e le considerazioni contenute nel riquadro “Flogisto e teorie scientifiche”. È giusto ricordare che quella del flogisto fu la prima seria teoria che interpretò in modo coerente, anche se errato, i risultati sperimentali disponibili all'epoca. Non era quindi il frutto di una manipolazione e, tantomeno, si trattava di una teoria fraudolenta. La sua erroneità fu provata sulla base di conoscenze successive. È perciò opportuno, come invita a fare il libro, “mantenere almeno un filo di *scetticismo* anche quando una qualsiasi teoria sia coerente con le evidenze sperimentali: una teoria non è necessariamente vera se è capace di spiegare i fatti sperimentali noti”. Vale per tutti l'esempio del modello dell'atomo d'idrogeno elaborato da Bohr. Così, anche nei capitoli successivi, l'Autore, sostenuto da una lunga esperienza di educatore, offre più occasioni di ripensare agli ostacoli che l'intelletto umano ha superato per giungere alle conoscenze della chimica di base. Coerentemente con questo obiettivo il libro, che dedica il dovuto spazio all'alchimia e alla iatrochimica, si ferma a Lavoisier senza dimenticare i



progressi tecnologici e la nascita dell'industria chimica, con un buon corredo di note, citazioni e riferimenti bibliografici. Partito dalla principale conquista dell'*homo erectus*, il fuoco, il narratore è obbligato a tornare allo stesso fenomeno con le esperienze di Lavoisier sulla combustione di fosforo e zolfo tramite la lente ustoria. Le teorie del Francese spiegavano finalmente ciò che intimoriva i nostri lontani progenitori, ma erano occorsi quasi due milioni di anni e un faticoso cammino. Esso merita di essere ripercorso, non solo da studenti e da semplici lettori curiosi di chimica, approfittando della compagnia garbata, intelligente e dilettevole di questo libro.

Marco Taddia



Four à porcelaine

Science on Stage 2

Presentazione

“Science on Stage2” è la seconda edizione di un progetto europeo che intende raccogliere quanto di meglio, di innovativo, di stimolante si propone in Europa per la diffusione delle conoscenze nel campo delle Scienze sperimentali.

È promosso dalle organizzazioni che fanno parte dell’EIROforum: ESO, ESA, CERN, EMBL, ESRF, ILL, EFDA si avvale inoltre della collaborazione dell’EAAE (European Association for Astronomy Education) e dell’EPS (European Physical Society). In Italia il progetto è promosso da: A.I.F. (Associazione per l’Insegnamento della Fisica), A.N.I.S.N. (Associazione Nazionale Insegnanti di Scienze Naturali), DD/SCI (Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana), la sezione italiana di E.A.A.E.), I.N.F.N. (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), I.F.G.A. (Istituto di Fisica Generale Applicata)/Sez. di Storia della Fisica, Università degli Studi di Milano e dalla Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici del Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca (MIUR).

L’edizione passata e le tre precedenti edizioni del “Physics on Stage” - di cui il Science on Stage è stato la naturale evoluzione - hanno riscosso un grande successo, portando centinaia di delegati di tutti i paesi a contatto con i più importanti centri europei di ricerca scientifica e, soprattutto, favorendo la conoscenza di proposte didattiche e di formazione innovative nel campo delle scienze sperimentali.

Alla realizzazione del progetto è demandato l’International Steering Committee (ISC) formato dai rappresentanti degli organismi promotori.

Il programma si propone i seguenti obiettivi:

- organizzare un festival che si terrà dal 2 al 6 aprile 2007 nel centro congressi Europole di Grenoble, la cittadina francese sede di ESRF e ILL;
- stimolare la diffusione di materiali e metodi educativi efficaci e identificare i modi con cui sostenere e motivare gli insegnanti affinché migliorino il proprio insegnamento nelle discipline scientifiche;
- estendere, in numero e attraverso le varie discipline, la rete europea di insegnanti esperti nella didattica e nella divulgazione scientifica;
- mettere a disposizione della comunità degli insegnanti di discipline scientifiche le considerevoli competenze delle principali organizzazioni europee che si occupano di ricerca attraverso l’European Intergovernmental Research Organisations (EIROs).

Il progetto è rivolto a insegnanti, studenti e ricercatori.

Le nazioni interessate sono 29 e l’Italia potrà partecipare con una folta rappresentanza (negli anni scorsi 30 delegati). In Italia le attività preparatorie alla partecipazione all’evento europeo sono coordinate dal National Steering Committee (NSC) che:

1. diffonde il bando di partecipazione al progetto;
2. individua le iniziative, a carattere nazionale o locale, che riguardino strategie didattiche innovative ed efficaci e che coinvolgano docenti motivati a partecipare al progetto;
3. organizza un evento nazionale finale, da tenersi nell’autunno 2006, che consenta la selezione dei delegati che parteciperanno al festival europeo. Il programma dettagliato di questo evento nazionale, sarà reso noto a tutti coloro che concorreranno al bando e, comunque, sarà pubblicato sul sito www.lngs.infn.it/scienceonstage
4. favorisce la partecipazione dei delegati all’evento finale europeo.

L’evento finale europeo consisterà in:

- una Fiera dove ogni nazione presenta i lavori selezionati da ciascun NSC: tali lavori rappresenteranno il meglio della produzione didattica degli insegnanti della scuola primaria e secondaria;
- speciali performance teatrali, in cui la meraviglia delle scienze sperimentali sia presentata in modo spettacolare e divertente;
- presentazioni plenarie “on stage” (sul palcoscenico), veri e propri show a tema scientifico;
- workshop in parallelo su temi rilevanti per l’insegnamento delle discipline scientifiche;
- un European Science Teaching Award che consiste in premi in denaro tesi a promuovere la prosecuzione delle iniziative e riconoscimenti per i migliori progetti di fiera; i premi saranno assegnati dall’ISC;
- seminari tenuti da scienziati di alto livello professionale;
- visite guidate ai centri di ricerca di Grenoble.

Bando

1. La Commissione Italiana (NSC) del Science on Stage2 (SoS) sollecita la presentazione di un progetto didattico innovativo relativo all’insegnamento delle Scienze sperimentali (fisica, chimica, biologia, astronomia....) che abbia le caratteristiche della originalità e della attrattiva ed efficacia didattica.

58 2. Il progetto può riguardare i più vari aspetti della didattica delle discipline scientifiche: apprendimento, progettazione e sperimentazione di percorsi e/o materiali didattici, innovazione didattica, raccordo dell’attività in classe con l’esperienza quotidiana, esperimenti proposti anche in forma di gioco o di spettacolo, contributo delle nuove tecnologie informa-

tiche alla didattica delle scienze sperimentali.

3. La presentazione dei progetti consentirà di effettuare la selezione dei delegati italiani che parteciperanno all'evento finale del SoS.

4. I delegati possono essere unicamente insegnanti, ricercatori o esperti in didattica e comunicazione.

5. La selezione avverrà in due tempi. Inizialmente saranno scelti i lavori che consentiranno agli insegnanti di partecipare all'evento nazionale; a seguito di questo evento sarà fatta la designazione ufficiale dei delegati.

6. Il numero dei progetti che rappresenteranno l'Italia all'evento finale europeo sarà definito in modo insindacabile dal NSC.

7. Il progetto potrà essere presentato da un gruppo di insegnanti, che l'hanno realizzato in collaborazione ma dovrà avere un solo referente.

8. La realizzazione del progetto è a carico dei presentatori: si suggerisce agli insegnanti interessati di coinvolgere la propria istituzione scolastica.

9. Le spese di viaggio e soggiorno per la partecipazione all'evento nazionale saranno a carico del NSC per il solo referente del progetto o per un suo sostituto.

10. Le spese di viaggio e soggiorno per la partecipazione all'evento finale di Grenoble saranno a carico degli organizzatori europei per i soli delegati selezionati dal NSC.

11. La presentazione del progetto avrà un'ampiezza di massimo tre pagine e dovrà essere corredato da fotografie.

Essa dovrà illustrare:

1) il settore di riferimento in relazione al programma del Science on Stage (fiera oppure presentazione sul palcoscenico oppure workshop);

2) gli obiettivi didattici e culturali;

3) il tema affrontato;

4) i contenuti innovativi;

5) l'indicazione delle modalità di verifica per la validazione della proposta e dei suoi obiettivi;

6) nel caso in cui il settore prescelto sia la fiera una chiara descrizione di ciò che si intende presentare;

7) le collaborazioni e i rispettivi ruoli nel lavoro svolto;

8) l'indicazione di chi, superata la selezione nazionale, sarà delegato a portare il progetto all'evento finale; è indispensabile la conoscenza dell'inglese, lingua ufficiale dell'evento europeo, per usufruire di tutte le opportunità offerte dal programma di tale evento.

12. Gli interessati al concorso dovranno far pervenire il progetto entro il **30 giugno 2006** per e-mail a euroscienza@lngs.infn.it, corredato da una domanda di partecipazione con l'indicazione del domicilio, del recapito telefonico e dell'indirizzo e-mail personali, l'indicazione dell'indirizzo, del recapito telefonico e di posta elettronica della scuola in cui s'insegna secondo il **modulo scaricabile** dal sito www.lngs.infn.it/scienceonstage. Nella domanda si devono indicare inoltre il titolo del progetto, lo stato di servizio e la materia di insegnamento.

13. Sono esclusi dal concorso coloro che hanno fatto parte della delegazione italiana per più di due edizioni di Physics on Stage e/o Science on Stage.

14. La selezione dei progetti avviene su insindacabile giudizio dell'NSC. Sono criteri di valutazione:

- Il carattere innovativo della proposta per l'insegnamento delle scienze sperimentali;
- La dimensione europea;
- Il carattere pluridisciplinare;
- La spendibilità in più ambiti scolastici;
- La correttezza e l'approfondimento dei contenuti scientifici;
- L'indicazione delle modalità di verifica per la validazione della proposta e dei suoi obiettivi;
- L'originalità e l'efficacia comunicativa;
- La presentazione di esperimenti del tipo "hands on";
- La presentazione da parte di un insegnante che non abbia partecipato alle passate edizioni del Physics on Stage o Science on Stage;
- Avere vinto negli ultimi due anni un concorso nazionale i cui criteri di selezione siano simili a quelli qui indicati.

Tutte le informazioni relative alla manifestazione europea delle passate edizioni sono disponibili sul sito **www.scienceonstage.net**. Tutti gli aggiornamenti relativi al progetto Science on Stage nazionale saranno reperibili sul sito **www.lngs.infn.it/scienceonstage**.

Per ulteriori informazioni ci si può rivolgere alla **Prof.ssa Maria Vittoria Massidda**; e-mail: vmassidda@tiscali.it



**SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA
DIVISIONE DI DIDATTICA**

**XXII CONGRESSO SCI 2006
V CONFERENZA NAZIONALE della DD-SCI**

CHIMICA PER APPASSIONARE E FORMARE

FIRENZE, 11 - 13 SETTEMBRE 2006

LUNEDÌ 11 SETTEMBRE

Ore 9-10 **CONFERENZA PLENARIA SCI**

10,20-10,40 **Presentazione della Conferenza Nazionale**
10,40-11,40 **Conferenza di apertura**

SESSIONE I- La didattica nella scuola primaria e secondaria di I grado

11,40 - 12,10 intervento (*)
12,10 - 12,40 intervento (*)
12,40 - 13,00 discussione

15,00 - 15,20 comunicazione
15,20 - 15,40 comunicazione
15,40 - 16,00 comunicazione
16,00 - 16,20 comunicazione
16,20 - 16,40 discussione
16,40 - 17,00 Coffee Break
17,00 - 17,30 Il progetto ISS presentazione
17,30 - 18,40 ISS - Tavola rotonda AIF, ANISN, DD-SCI
18,40 - 19,00 discussione

MARTEDÌ 12 SETTEMBRE

SESSIONE II- La didattica nella scuola secondaria di II grado

Ore 9 - 10 **CONFERENZA PLENARIA SCI**

10,20 - 11,00 Conferenza rappresentante MIUR : la scuola secondaria di secondo grado tra Istruzione e formazione professionale
11,00 - 11,40 intervento (*)
11,40 - 12,10 intervento (*)
12,10 - 12,30 comunicazione
12,30 - 13,00 discussione

14,30 - 15,20 Poster
15,20 - 15,40 comunicazione
15,40 - 16,00 comunicazione
16,00 - 16,20 comunicazione
16,20 - 16,40 discussione
16,40 - 17,00 Coffee Break
17,00 - 17,20 comunicazione
17,20 - 17,30 discussione

14,00 - 15,20 Consiglio Direttivo

17,30- 19,30 Assemblea dei soci

MERCOLEDÌ 13 SETTEMBRE

SESSIONE III- L'Università e la formazione dei docenti

Ore 9-10 **CONFERENZA PLENARIA SCI**

10,20-10,50 intervento (*) Il Futuro delle SSIS
 10,50-11,20 comunicazione
 11,20-11,40 comunicazione
 11,40-12,00 comunicazione
 12,00-12,20 comunicazione
 12,20-12,40 comunicazione
 12,40-13,00 discussione

14,30-15,20 Poster

15,20-16,20 **CONFERENZA PLENARIA SCI**

16,20-16,40 pausa
 16,40-17,00 Coffee Break
 17,00- 18,00 premio Illuminati
 18,00 - 18,30 premiazione del concorso per le scuole e chiusura

(*) Interventi su invito o programmati

La scadenza per la presentazione dei lavori è il 21 Aprile 2006 . Il testo della comunicazione, con le caratteristiche indicate sul sito: www.sci2006.unifi.it , deve essere inviato a all'indirizzo e-mail : did.sci2006@unifi.it
 Verranno assegnate 10 borse di partecipazione consistenti nel pagamento di tre pernottamenti. La domanda di assegnazione della borsa deve pervenire contestualmente alla presentazione del riassunto della comunicazione.

La Conferenza Nazionale si svolgerà presso il Polo Didattico dell'Università degli Studi di Firenze,viale Morgagni. Altre informazioni sono sul sito www.sci2006.unifi.it

Eventi e conferenze di interesse per insegnanti di chimica

Maggio 27-31, 2006: Canadian Society for Chemistry Annual Conference, Halifax NS. KDARVESH@msvu.ca.

Luglio 30 - Agosto 3, 2006: 19th Biennial Conference on Chemical Education (BCCE), 17th Two Year College Chemistry Conference: Purdue University, West Lafayette IN. Web: www.chem.purdue.edu/bcce.

Luglio 30 - Agosto 4, 2006: XII IOSTE SYMPOSIUM, "Science and Technology Education in the Service of Mankind", Penang, Malaysia, <http://ppip.usm.my/ioste12>

Agosto 12-17, 2006: 19th International Conference on Chemical Education, Seoul, Korea. Web: www.19icce.org.

Agosto 27-31, 2006: 1st. EuCheMS European Chemistry Congress, Budapest, Hungary
<http://www.fecs-budapest2006.hu/>

Settembre 1-2, 2006: 8th. ECRICE, 4th. ECCE, Budapest, Hungary, www.ecrice8.mke.org.hu

Settembre 2-9, 2006: BAAS Meeting, "People,science and society", Norwich Research Park, Norwich, UK,
<http://www.trhe-ba.net/>

Ottobre 21 - 25, 2006: ChemEd-Ireland Conference, "Chemical education in Ireland - 25 years on", University of Limerick - peter.childs@ul.ie, marie.walsh@ul.ie.



SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA

Divisione di Didattica Chimica
Sezione Toscana

Ufficio Scolastico Regionale
Toscana

CONCORSO “Chimica 2006” Chimica: fenomeni, idee, esperimenti

Dall'11 al 13 Settembre 2006 si terrà a Firenze la **Conferenza Nazionale “DD/SCI 2006”** in concomitanza con il Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana dedicato ad Amedeo Avogadro. In tale occasione la Divisione di Didattica Chimica, in collaborazione con la sezione Toscana della SCI e con l'Ufficio Scolastico Regionale della Toscana, bandisce un concorso, **aperto alle sole scuole della Regione Toscana**, con lo scopo di mettere in evidenza quanto la chimica possa essere piacevole e coinvolgente oltre che formativa ed educativa.

Gli allievi, sotto la guida dei rispettivi docenti, sono invitati a preparare degli elaborati collettivi riguardanti la chimica che possono essere costituiti da CD, testi scritti ed eventuali supporti grafici.

Il concorso è suddiviso in 3 categorie:

Categoria A – **Scuola Primaria**

Categoria B – **Scuola Secondaria di 1° grado**

Categoria C – **Scuola Secondaria di 2° grado**

Gli elaborati delle categorie A e B dovranno attenersi al seguente tema: *“Raccontate un'esperienza che vi ha mostrato l'utilità e la bellezza della chimica”*.*

Gli elaborati della categoria C dovranno riferirsi al seguente argomento: *“Avogadro, la chimica e la scienza del suo tempo”*.

Le scuole che intendono partecipare al concorso devono inviare gli elaborati, tramite posta raccomandata, entro il **15 Giugno 2006** al seguente indirizzo: Comitato Organizzatore del Concorso “Chimica 2006”, presso Prof.ssa Eleonora Aquilini, via San Martino, 25 – 56125 Pisa – tel. 05024794 – fax. 05038331180 - e-mail:ele.aquilini@tin.it

Una commissione appositamente costituita, a suo insindacabile giudizio, sceglierà l'elaborato migliore per ogni categoria. Tutti gli elaborati verranno esposti durante la Conferenza. La premiazione dei vincitori avrà luogo durante la **Conferenza Nazionale**. I premi, finanziati con contributo della DD/SCI e della SCI nazionale e toscana, consisteranno in buoni d'acquisto per materiale didattico-scientifico per le scuole. Agli allievi verranno donati libri offerti dalla Casa Editrice Zanichelli.

Per informazioni, indicazioni e suggerimenti le scuole possono rivolgersi a:

AQUILINI Eleonora (ele.aquilini@tin.it), RIPOLI Silvia (ripolirb@tin.it),

OLMI Fabio (f.olmi@fi.flashnet.it), VILLANI Giovanni (villani@ipcf.cnr.it)

* Si può far riferimento ad attività di laboratorio o a percorsi didattici di qualsiasi tipo nei quali la chimica abbia particolare rilevanza.

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

INFORMAZIONI GENERALI

La rivista CnS – La Chimica nella Scuola si propone anzitutto di costituire un ausilio di ordine scientifico, 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, 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. La redazione darà conferma dell'avvenuto ricevimento.

DETTAGLI TECNICI

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 devono 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.** Deve essere riportata 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.

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@dccl.unipi.it** - Indirizzo postale: Pierluigi Riani - Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale - Via Risorgimento, 35 - 56126 PISA

2) **pasquale.fetto@unibo.it** - Indirizzo postale: Pasquale Fetto - Facoltà di Medicina Veterinaria - Via Tolara di Sopra, 50 - 40064 Ozzano Emilia (BO).