

Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

**CNS**

**LA CHIMICA NELLA SCUOLA**

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

**TERMODINAMICA GAIA  
ETICA DELL'AMBIENTE**

**UNA PROPOSTA DIDATTICA  
SU ACIDI e BASI**

**L'ACQUA  
PROPRIETÀ E STRUTTURA**

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

<http://www.ciam.unibo.it/didichim>

LA CHIMICA

NELLA SCUOLA



Società Chimica Italiana

Anno XXVI

Settembre - Ottobre 2004

Direttore responsabile

**Pierluigi Riani**

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

Past-Editor

**Paolo Mirone**

e-mail: paolo.mirone@fastwebnet.it

Redattore

**Pasquale Fetto**

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

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

Italia • 48 - Paesi comunitari • 58

Fascicoli separati Italia • 12

Fascicoli separati Paesi extracomunitari • 15

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

Ufficio Abbonamenti

Manuela 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 illustrazioni pubblicate in questa rivista è  
permessa previa autorizzazione della Direzione

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

LE GRAFICHE RECORD snc

S. Giorgio di P. (BO) - Tel. 0516650024

## SOMMARIO

### EDITORIALE

Quale posto per la scienza e la chimica nella futura scuola? **101**  
di *Giacomo Costa*

### DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

L'analisi retrosintetica: un approccio razionale  
alla sintesi organica - II parte **105**  
di *Rita Menicagli*

La chimica e le ricerche sulla complessità - III parte  
La termodinamica, Gaia e l'etica dell'ambiente **112**  
di *Luigi Cerruti*

L'acqua: Proprietà e struttura - I parte **119**  
di *Fabio Momicchioli, Paolo Mirone*

L'insegnamento delle scienze in Europa:  
uno sguardo d'insieme **124**  
di *Liberato Cardellini*

### ESPERIENZE E RICERCHE

Una proposta didattica volutamente incompleta  
sugli acidi e sulle basi. - I - Qualche riflessione  
sulla programmazione **128**  
di *Ermanno Niccoli*

Raccontare le esperienze di laboratorio:  
una riflessione sulla metodologia delle cinque fasi **135**  
di *Eleonora Aquilini*

Un'esperienza di attività d'orientamento **139**  
di *Giovanni Casavecchia*

### RUBRICHE

LETTERE AL LETTORE **142**  
La riforma virtuale  
di *Ermanno Niccoli*

LETTERE A CnS **143**  
Insegnare e apprendere le teorie dell'evoluzione  
di *Autori Vari*

RECENSIONE **144**  
Frutti e succhi di frutta: naturalmente sani, giovani...e belli!  
recensione di *Rinaldo Cervellati*

ACHILLE E LA TARTARUGA **145**  
Scienza divertente  
di *Francesca Turco*

NOTIZIE **146**  
Il Gruppo giovani della SCI: creiamo dei legami  
di *Francesca Turco*

Errata Corrige **148**

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

## QUALE POSTO PER LA SCIENZA E LA CHIMICA NELLA FUTURA SCUOLA?

La difesa della chimica come disciplina scolastica è divenuta una necessità drammatica, particolarmente dopo gli attacchi da fonti autorevoli e politicamente influenti, rivolti proprio alle scuole utilizzando canali ufficiali. Attacchi che stravolgevano, oltre all'immagine di questa scienza, anche la sua funzione nella scuola, indispensabile nella formazione del pensiero scientifico. Nell'occasione della riforma è allora la scuola l'istituzione nella quale la chimica viene difesa in prima linea, e proprio nel processo di riforma della scuola. La Divisione di Didattica Chimica della Società Chimica Italiana si inserisce perciò nel dibattito che ne accompagna la graduale attuazione per difendere il ruolo della chimica come disciplina, protagonista di una concezione moderna della formazione scientifica. Nel sommarsi dei contributi della ricerca scientifica e nelle interdipendenze dei relativi saperi, la chimica unisce la sua specificità a quelle della fisica e delle scienze naturali. Insieme, costituiscono la scienza sperimentale di base per la conoscenza del mondo fisico e insieme contribuiscono alla formazione del pensiero scientifico nella cultura generale. Questa crescente interdisciplinarietà non deve sfumare l'immagine della chimica. Rimane sempre attuale e importante per la collocazione stessa della chimica nella programmazione scolastica, il problema della sua definizione come disciplina. Come ogni disciplina anche la chimica nasce dalla organizzazione di saperi aventi caratteristiche di appartenenza a un sistema coerente e correlato di concetti e paradigmi. La sua organizzazione è diversa a seconda della funzione che esercita, con le sue applicazioni, nei vari settori dell'attività sociale ed economica. E la prima organizzazione del pensiero chimico inizia nella scuola dove essa presenta la sua immagine come disciplina. Per una più consapevole difesa della chimica possiamo oggi tentare una valutazione della sua posizione nella futura didattica, in base a quanto ci si può aspettare dai primi documenti pubblicati sulla riforma. Questi sono i "Profili educativi, culturali e professionali dello studente alla fine del primo ciclo", e le "Indicazioni nazionali per i Piani di studio personalizzati nella Scuola Secondaria di I° grado", e dagli obiettivi specifici di apprendimento, riferentisi al decreto legislativo 19 febbraio 2004 n.59 emanato

a sensi della legge delega 28 marzo 2003. Sono stati pubblicati anche i "Profili" per il secondo ciclo di istruzione e di formazione (i licei). Per la Scuola Secondaria di I° grado il confronto con la situazione attuale potrebbe essere fatto ricordando la Legge 16 giugno 1977 n. 348, la quale, facendo seguito alla legge 31 dicembre 1962 n.1859 istituiva la scuola media unica. L'impostazione politica e programmatica della legge 77/348 era semplicemente il dettato costituzionale. Nella premessa si afferma infatti che la legge "...rafforza la capacità democratica delle strutture della scuola media secondo i principi sanciti dalla Costituzione" e "contribuisce a rimuovere gli ostacoli di ordine economico e sociale che impediscono la effettiva partecipazione di tutti i lavoratori all'organizzazione politica, economica e sociale del Paese." L'orientamento dei Profili e le indicazioni della riforma Moratti differiscono per la maggiore attenzione alla personalizzazione del processo di insegnamento - apprendimento e allo sviluppo e valorizzazione di tutte le capacità dell'allievo: si legge infatti che "...la scuola è primariamente al servizio della persona di ciascuno". Alcuni obiettivi specifici per l'educazione alla convivenza civile, sono elencati come "conoscenze e abilità" per "l'educazione alla cittadinanza", mentre nelle "indicazioni per l'educazione stradale e ambientale, per la salute alimentare e per l'affettività", troviamo collegamenti fra conoscenza scientifica e valori umani. E troviamo che emergono considerazioni di ordine filosofico, particolarmente etico e morale sullo stesso significato, funzione e finalità della conoscenza scientifica. Nei "Profili", vi sono passaggi nei quali il suggerimento culturale porta a una proposta didattica distante dalla attuale cultura scientifico - tecnologica, mentre frequenti suggerimenti rimandano a scuole di pensiero proprie della società capitalistica liberale e borghese. È stata già da altri segnalata ad esempio l'insufficienza, della problematica della convivenza civile e della solidarietà. È trascurata la necessità di una scuola che renda l'alunno consapevole delle conseguenze dell'accelerazione e allargamento delle interazioni fra individui provenienti da civiltà diverse e lo convinca della necessità di mutua comprensione e reciproca accettazione. La concentrazione del fine didattico sulla pura valorizzazione

dell'individuo non risulta compatibile con la necessità che l'individuo stesso, nei rapporti con la società sia consapevole di essere sì titolare di diritti ma anche soggetto a doveri per il comune sviluppo della comunità e della civile convivenza. Inoltre, la scuola non deve trascurare di mettere in luce il fatto che la ricerca scientifica dimostra la crescente interazione fra l'uomo e l'ambiente, a livello locale e globale, e che quindi ognuno deve minimizzare con il proprio comportamento gli aspetti negativi di tale interazione. In una società come la nostra, il dominio della tecnica è pervasivo e la scienza, proprio perché da essa tutta la tecnologia ha origine, è un punto immancabile di riferimento, per ogni cultura. È quindi necessario affrontare i problemi etici sollevati dalla tecnologia utilitarista, discutere gli apporti della scienza e della tecnica e segnalare la differenza fra tecnologia e razionalità scientifica. In una riforma scolastica non si può ignorare la sfida più importante della nostra epoca: il controllo dell'impatto della scienza sulla società e le regole che occorre imporre non sulla libertà della ricerca scientifica ma sull'uso indiscriminato della tecnologia quando offende la dignità dell'uomo e il suo ambiente.

Ci preoccupiamo nel constatare che nei primi documenti ministeriali il pensiero scientifico è messo in una posizione ambigua quando non alternativa o addirittura opposta al pensiero filosofico, riaprendo il tema della competizione fra le due culture. Nell'introdurre il primo ciclo della formazione secondaria si avverte ad esempio che "passare da un'istruzione primaria ad una secondaria significa cominciare a maturare le consapevolezza che mettono in crisi l'isomorfismo ingenuo fra realtà e conoscenza della realtà e scoprire l'incompletezza di qualsiasi rappresentazione iconica e/o logica della realtà" e si affianca il modello scientifico ai modelli linguistico – letterari, artistico – estetici, storico – sociali ed etico – religiosi" considerandoli come anelli di congiunzione tra la realtà e la dimensione delle scienze sperimentali". Il pensiero scientifico è messo in discussione anche in una visione estetico - etico – morale quando si invitano i giovani ad interrogarsi sul piano del vero e del falso, del scientifico e dell'empirico, del semplice e del complesso, del giusto e dell'ingiusto, del bello e del brutto, del male e del bene, dell'utile e dell'inutile, della realtà e della possibilità, del senso e del non senso. Cogliamo in questi suggerimenti l'eco della visione crociana, le quattro forme dello spirito, le eterne categorie del bello, del vero, dell'utile e del bene. D'altra parte la posizione antiscientifica e il conflitto fra due culture, sono rivelate dall'affermazione che il liceo scientifico "...non è la scuola delle scienze esatte e naturali bensì il liceo che, proprio a partire da e con esse ne svela la matri-

ce e gli scopi umanistici". Ci sembra ardito pensare che il contributo della matematica e delle scienze sperimentali (fisica, chimica e scienze della terra) come insegnato nel liceo scientifico debba e possa assicurare l'ermeneutica, utile alla comprensione della vita umana, del mondo e dei loro fenomeni. Ciò presuppone ovviamente una approfondita critica della conoscenza scientifica e una maturità difficilmente raggiungibile nella adolescenza.

Affermare infine che "le scienze umane non sono meno scientifiche di quelle esatte e naturali come la matematica, la fisica, la chimica la biologia...", non solo nel piano metodologico ed epistemologico ma anche su quello etico" e concludere che il liceo scientifico ne deve semplicemente "svelare la matrice e gli scopi umanistici" svela invece la natura ideologica di questi orientamenti della riforma, disconoscendo il valore della razionalità scientifica.

Un esame dei contenuti che vengono proposti per gli obiettivi specifici di apprendimento permette di ottenere informazioni sulla posizione delle scienze di base e in particolare della chimica nella riforma Moratti. Nella successione di temi per la fisica, la chimica e le scienze naturali è impossibile riconoscere ragionevoli percorsi didattici. Troviamo invece brandelli di informazione tecnologia che possono al massimo informare su pratiche di uso quotidiano ma ignorano i fondamenti delle discipline. Si accostano nella stessa tabella, temi come la portata di un canale o di una tubatura, i generici segnali delle onde elettromagnetiche, l'uso della bussola. E si propongono anche temi non banali e sicuramente non affrontabili senza una adeguata preparazione disciplinare, come le funzioni nutritive degli alimenti, gli effetti di psicofarmaci, la riproduzione dei viventi (assieme alla specificità della riproduzione nell'uomo). È chiara l'intenzione di preparare i giovani a tenersi lontani da comportamenti devianti e dannosi alla persona. Ma non lo si fa richiamando prove e argomenti scientifici, bensì come un semplice e didatticamente non strutturato indottrinamento. Il "primo approccio alla chimica" è rappresentato da "acidi basi e sali nell'esperienza ordinaria .." e viene dato solo come "...esempio di sostanze chimiche". Manca ogni indicazione per un percorso didattico sui fondamenti della chimica. L'unico altro tema che riguarda la chimica sta nell'indicazione "caratteristiche dei suoli loro origine e relazione con le sostanze chimiche presenti in essi. Cenno ai concimi" il tema non fa parte di un curriculum di chimica bensì di un particolare settore specialistico della biochimica.

La scoperta più preoccupante riguarda l'assenza di indicazioni sulla necessità di prefigurare un percorso ideale per la formazione scientifica che inizia introducendo l'allievo all'osservazione, alla verbalizzazione,

alla sperimentazione alla formulazione di ipotesi e all'applicazione delle regole logiche dell'indagine scientifica. È quel tipo di insegnamento interdisciplinare con il quale le scienze di base concorrono a formare ciò che E. Morin chiama "una testa ben fatta". Negli obiettivi specifici per la scuola secondaria di I° grado nella riforma Moratti non vi è traccia dell'avvio al metodo scientifico. Non sono obiettivi di apprendimento quelle regole fondamentali che dai tempi di Cartesio di Galileo e di Newton ha fatto prevalere la ragione sulla superstizione e il dogmatismo.

Abbiamo cercato di scoprire nei "Profili educativi, culturali e professionali dello studente, e nelle "Indicazioni nazionali per i Piani di studio" della riforma Moratti la posizione che sarà destinata alle scienze sperimentali di base nella cultura del ragazzo all'uscita dei successivi cicli scolastici. Abbiamo notato la mancanza di un progetto didattico di formazione scientifica come una componente non opzionale della cultura del cittadino. Al contrario il modello scientifico viene affiancato ad altri modelli riprendendo la contrapposizione delle "due culture" ma trascurando che la scienza moderna, dopo secoli di separazione dalla filosofia naturale investo ormai i settori tradizionali riservati al pensiero filosofico. Emanuele Severino considera una transizione dall'unificazione epistemica all'unificazione scientifica del mondo. La scienza è punto di riferimento di ogni forma di cultura e la razionalità scientifica guida il progresso tecnico della civiltà occidentale.

Il modello scientifico non è un modello alternativo della realtà fisica confrontabile con altri tipi di modelli. La verità scientifica, descritta da un modello scientifico, non è confrontabile con le ideologie né con le verità rivelate della religione. La verità scientifica è una verità relativa che si insegue continuamente e muta progressivamente ma è continuamente e necessariamente condivisa in quanto costituita di razionalità e sostenuta da criteri riconosciuti di verifica. L'abbandono del metodo scientifico, nella riforma Moratti per la scuola secondaria di primo grado, è abbandono di questa verità nella formazione del pensiero scientifico ma che è in sostanza semplicemente il pensiero razionale. È abbandono dell'unico criterio di giudizio che, appunto perché basato su una verità relativa ma verificabile e condivisa, non interferisce con la verità rivelata che invece non è necessariamente condivisa. Il criterio della verità scientifica è quindi l'unico che può essere accettato da tutti senza il ricorso alla fede o alla superstizione. Il carattere di verità condivisa dà alla scienza lo strumento razionale per la convivenza pacifica. È solo nella verità scientifica per quanto sempre incompleta e in continua evoluzione, che tutti possiamo incontrarci e, abbandonando le "opinioni", dobbiamo necessariamente trovare

l'accordo in qualche soluzione dei problemi concreti, indipendentemente dalle differenze che invece ci dividono, incluse le fedi politiche e religiose. I nuovi orientamenti del processo educativo che si intravedono nelle attuali proposte di riforma, accostando alla verità scientifica verità che non sono verificabili con gli stessi criteri e non sono quindi confrontabili potrebbero generare nei giovani pericolosi ed inutili conflitti di coscienza.

Il raffinamento del pensiero scientifico è oggi tanto importante quanto difficile perché la proposta di modelli interpretativi riposa ormai su evidenze sperimentali coinvolgenti altissime energie, infinitesimi intervalli temporali, submicroscopiche dimensioni, complessità di calcolo crescenti esponenzialmente e concetti contro intuitivi.

Questa situazione produce impressionanti messaggi sul potere della tecnologia, continue conquiste per il nostro benessere, che la comunicazione e la pubblicità diffondono incessantemente nelle masse, mentre la scienza rimane al di fuori della nostra capacità di capire e ci abbandona alle suggestioni dell'insondabile, all'occultismo agli oroscopi.

Ecco allora che l'insegnare a pensare il pensiero logico, condizione primaria, fra l'altro, dell'indagine scientifica, diventa il primo obiettivo a tutti i livelli scolari. Non sarà facile sensibilizzare la pubblica opinione sulla necessità di correggere in questo senso il percorso di realizzazione della riforma. Le prese di posizione già avvenute, di scienziati di chiara fama sono indispensabili per segnalare i sintomi di un'involuzione culturale, ma sono solo i docenti e le Associazioni di esperti nelle discipline direttamente interessate, oltre alla matematica, la fisica, la chimica e le scienze naturali che possono e devono continuare con un'azione coordinata, a produrre proposte e ad essere ascoltate e seguite per l'introduzione negli obiettivi specifici di apprendimento percorsi curricolari idonei a fornire conoscenze ma soprattutto a formare menti in grado di affrontare ai diversi livelli il ragionamento scientifico.

## Ugo Schiff

Francoforte sul Meno, 1834 - Firenze, 1915

Nacque il 26 aprile 1834 a Francoforte sul Meno da antica famiglia israelita di origine spagnola. Studiò dapprima a Berna, ma il contatto più profondo con la chimica venne dopo il suo trasferimento a Göttingen, dove entrò nel laboratorio di Friedrich Wöhler, uno dei grandi capiscuola del tempo. Nel gennaio del 1857 si addottorò in filosofia presso quella Università, ma subito dopo dovette emigrare in Svizzera per via delle sue idee politiche rivoluzionarie. Nel 1858 ottenne un incarico all'Università di Berna, dove insegnò anche come libero docente fino al maggio del 1862. Nel maggio 1863, chiamato da Matteucci insieme al fratello Moritz, insigne fisiologo, ottenne la modesta posizione di aiuto provvisorio presso l'Università di Pisa. Con i suoi 59 lavori pubblicati meritava certamente un ruolo migliore e nello stesso anno fu nominato professore straordinario di chimica all'Istituto di studi superiori di Firenze. La cattedra era vacante da 60 anni e quando Schiff arrivò non trovò nulla che potesse essere considerato un laboratorio di chimica, ma pochi e disadorni locali nell'edificio di Via Romana alla "Specola". Tuttavia dopo soli tre mesi era già in grado di tenere lezione di chimica generale a 7 studenti di farmacia, a tre di chimica organica e di portare avanti la sua attività di laboratorio; in pochi anni riuscì a formare un istituto di ricerca all'avanguardia che si affermò in Italia come in Europa.

Dopo aver rifiutato nel 1871 la cattedra di Roma perché non adeguatamente dotata di finanziamenti degni di una capitale, nel 1873 chiese il trasferimento a Torino, ma la Facoltà preferì mettere la cattedra a concorso (settembre 1873). Le more del concorso furono tali che Schiff ottenne la nomina solo l'11 maggio 1876. Dal 1877 al 1879 fu dunque professore di Chimica Generale all'Università di Torino, occupando la cattedra che era stata di Piria. A Torino fu al centro di una violenta contestazione degli studenti; le lezioni di chimica vennero sospese e fu aperta un'inchiesta dalla quale si appurò che la causa dei disordini andava ricercata nella severità degli esami e nell'aula troppo piccola per il gran numero di studenti che a mala pena sentivano la voce del professore. Schiff rimase nel capoluogo subalpino fino al novembre 1879, data del suo ritorno definitivo a Firenze. Anche a Firenze il suo comportamento provocò molti malumori tanto che alcuni allievi si trasferirono in altri atenei. Alle richieste di spiegazione del Soprintendente, Schiff rispose che gli allievi non avevano entusiasmo, erano poco volenterosi e studiavano poco. Seppe comunque creare una scuola dalla quale uscirono valenti chimici, molto apprezzati sia in Italia che all'estero, alcuni dei quali occuparono importanti posti nell'industria o ricoprirono cattedre universitarie; sono da ricordare per lo meno Guareschi, Pellizzari, Piutti e Betti.

L'attività scientifica di Schiff si svolse in diversi campi della chimica: analitica, organica, inorganica, mineralogia, chimica fisica, scrisse lavori di storia e di didattica e diede un contributo alla teoria dei tipi e al passaggio alla teoria della valenza. Fu inoltre ideatore e costruzione di numerosissimi



strumenti, fra cui va ricordato almeno l'azotometro, di cui furono costruiti decine di migliaia di esemplari a partire dal 1868. Secondo Guareschi, Schiff, insieme a Berzelius e Bunsen, è stato uno dei maggiori creatori di apparecchi di laboratorio, contribuendo non poco anche allo sviluppo dell'industria italiana. In chimica organica sono ricordate ancora oggi le *basi di Schiff*, composti scoperti nel 1864 attraverso la reazione delle aldeidi con le ammine. La reazione fu poi estesa dallo stesso Schiff, ed infine generalizzata da Emil Fischer, dopo la scoperta da parte di quest'ultimo della fenilidrazina (1875).

Schiff ebbe intensi rapporti editoriali con Torino ancor prima del suo trasferimento sulla cattedra che era stata di Piria; infatti fra il 1866 e il 1875 scrisse numerosi articoli per l'*Enciclopedia di Chimica* diretta da Selmi, e pubblicata dalla UTET. Nel 1876 pubblicò, sempre a Torino, una *Introduzione allo studio della chimica*, testo interessantissimo dal punto di vista dell'epistemologia chimica. D'altra parte esso fu scritto da uno scienziato di grande cultura e di vastissime conoscenze linguistiche. Nel 1870 nell'Istituto fiorentino di Schiff un piccolo gruppo di chimici italiani raccolti intorno a Cannizzaro fondarono la *Gazzetta Chimica Italiana*; il nostro chimico ha anche un posto nella storia del socialismo italiano perché fu anche tra i fondatori dell'*Avanti!*

Nel 1904, in occasione del suo settantesimo anno di età, furono preparate solenni onoranze alle quali avevano aderito i chimici di tutta Europa, ma egli volle che la cerimonia fosse semplice. Alle diverse migliaia di lire raccolte ne aggiunse altrettante di suo ed espresse il desiderio che la somma servisse a dare vita ad un premio biennale per la migliore tesi di Laurea in chimica. Morì a Firenze l'8 settembre 1915.

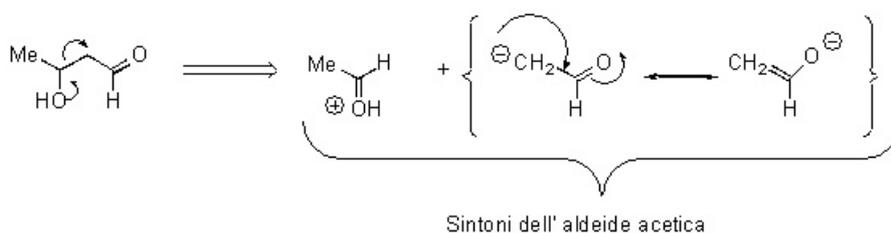
**Fonte bibliografica.** I. Guareschi, "Commemorazione di Ugo Schiff", estratto di 22 pagine dagli *Atti dell'Accademia delle scienze di Torino*, 1916-17, vol. 52.

## L'Analisi Retrosintetica: un Approccio Razionale alla Sintesi Organica - II parte

RITA MENICAGLI (\*)

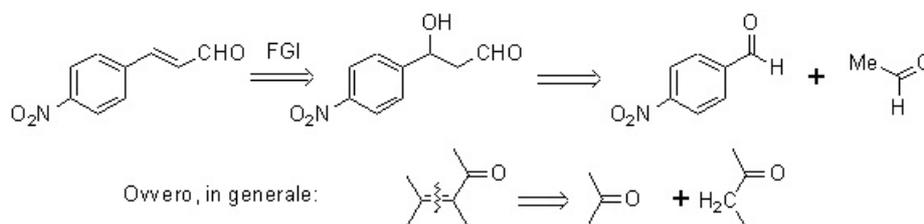
*In un lavoro pubblicato nel precedente numero di CnS è stato introdotto il problema dell'Analisi Retrosintetica e sono stati analizzati alcuni esempi: Riprendiamo il discorso dal punto in cui è stato interrotto.*

Negli esempi sino ad ora mostrati, la disconnessione è sempre stata promossa da un solo gruppo funzionale ma, aumentando la complessità molecolare, possono essere presi in considerazione anche altri approcci retrosintetici nei quali due o più gruppi funzionali, non necessariamente adiacenti, cooperano al processo di disconnessione. Un esempio di disconnessione nella quale intervengono due funzionalità è mostrato nello Schema 19 dove, a partire ancora una volta dalla funzionalità alcolica del 3-idrossibutanale, con l'usuale tecnica di scissione del legame, viene facilmente individuata la metodologia di sintesi: una reazione di condensazione aldolica.



**Schema 19**

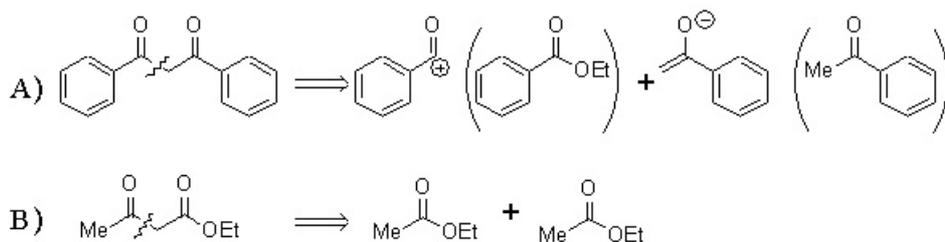
Quanto mostrato nello Schema 19, è ovviamente estrapolabile a tutte le altre classi di composti che si ottengono mediante reazioni correlate alla condensazione aldolica (anioni enolato + substrati carbonilici) compresi anche i derivati carbonilici  $\alpha,\beta$ -etilenici (Schema 20).



**Schema 20**

In questo contesto devono essere ricordati anche i composti 1,3- ed 1,5-dicarbonilici che costituiscono intermedi di grande valore nella sintesi organica; l'approccio retroanalitico più semplice ed immediato di tali sistemi suggerisce reazioni di condensazione che, effettivamente, rappresentano il modo migliore per prepararli.

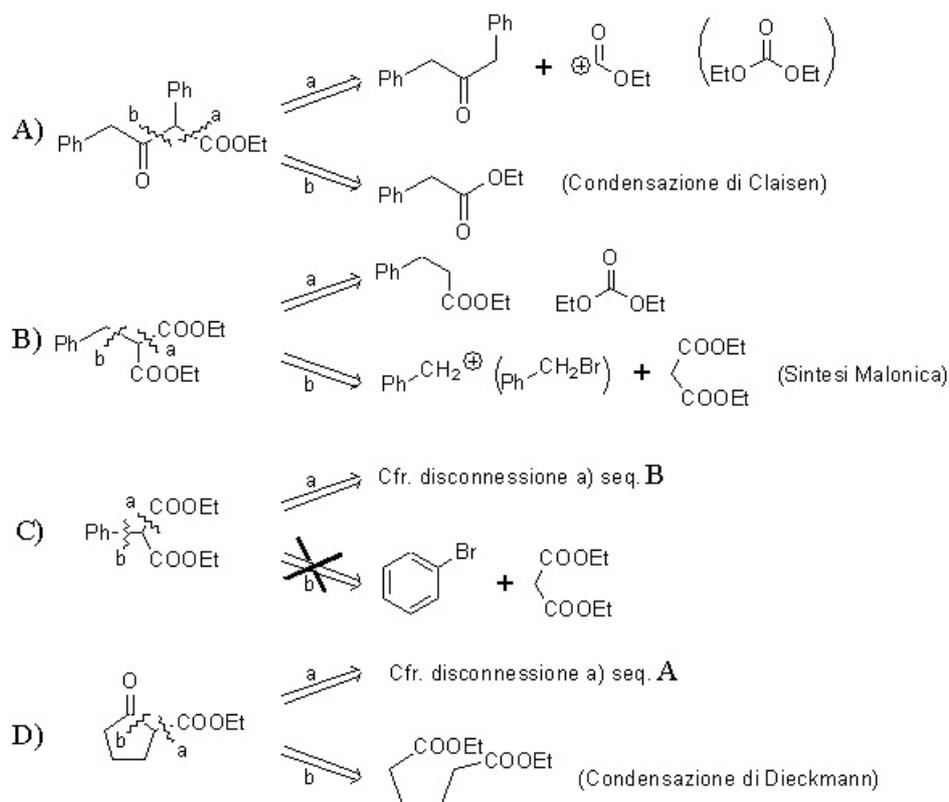
La retroanalisi (Schema 21, seq. **A**) dell' 1,3-difenil-1,3-propanone è un valido esempio; di fatto, per questa molecola si potrebbero pensare due diverse disconnessioni: 1) la scissione del legame Ph-CO (riconducibile ad una reazione di acilazione di Friedel-Crafts) ovvero 2) quella del legame CO-CH<sub>2</sub> che individua la reazione di condensazione tra un estere non enolizzabile (benzoato d'etile) e l'acetofenone, metodologia che viene effettivamente utilizzata per la sintesi. Con lo stesso approccio può essere trattato un  $\beta$ -chetoestere (Schema 21, seq. **B**) ed il risultato che si ottiene è la reazione di condensazione di Claisen degli esteri.



**Schema 21**

(\*) Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale  
Università degli Studi di Pisa, Via Risorgimento, 35 - 56126 Pisa

Come è già stato fatto osservare, la retroanalisi suggerisce metodologie di sintesi e stimola la fantasia ma la conoscenza delle reazioni è sempre necessaria sia per condurre una corretta antitesi che per garantire il successo della sintesi. A questo proposito, rimanendo nel settore delle reazioni di condensazione,<sup>9</sup> si possono esaminare gli esempi proposti nello Schema 22.



Schema 22

Il caso **A**) propone due vie sintetiche alternative e percorribili anche se la condensazione di Claisen è certamente più semplice, dal punto di vista sperimentale, dell'  $\alpha$ -funzionalizzazione di un chetone; osservazioni analoghe possono essere fatte anche per il caso **B**): la sintesi malonica (b) è sperimentalmente un processo più facile dell'  $\alpha$ -funzionalizzazione di un estere (a); nel caso **C**) la disconnessione (b), che suggerisce la sintesi malonica è stata scartata in quanto la reazione di sostituzione nucleofila sugli alogenuri arilici richiede condizioni sperimentali particolari\*; per quanto concerne il caso **D**) la retro-analisi propone, ancora una volta, due vie alternative: l'  $\alpha$ -funzionalizzazione di un chetone (a), processo già commentato e un' interessante condensazione intramolecolare di un 1,6-diestere (b), processo preferito sia per la preparazione del target che del suo omologo cicloesanoico.

Anche i sistemi 1,5-dicarbonilici offrono interessanti spunti di discussione ma, prima di affrontare i problemi connessi con la loro retroanalisi è, a mio parere necessario, richiamare alcune peculiarità della reazione di condensazione (reazione di Michael) che viene usualmente utilizzata per la loro preparazione.

Tutte le reazioni di condensazione viste avvengono per interazione tra un anione enolato (nucleofilo) ed un substrato carbonilico (elettrofilo); tenendo presente che un sistema di elettroni  $\pi$  è in grado, mediante la risonanza, di delocalizzare una carica di un atomo adiacente, è ragionevole attendersi che la reattività di un atomo di carbonio carbonilico possa essere trasferita (principio di vinilogia) all' atomo di carbonio in posizione b se il substrato è  $\alpha,\beta$ -etilenico (Figura 6).

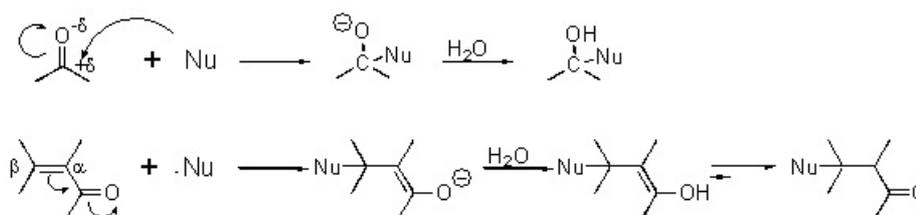


Figura 6

106 \* La reazione deve essere condotta in presenza di basi sufficientemente forti ( $\text{NaNH}_2$ ) da assicurare la conversione del bromobenzene in benzino che, reagendo con l' anione enolato, fornisce, dopo idrolisi della miscela di reazione, l' usuale prodotto della reazione di condensazione malonica.

Su questa base l'addizione (reazione di Michael o addizione coniugata) di un anione enolato ad un derivato carbonilico  $\alpha,\beta$ -etilenico (accettore di Michael) condurrà ad un sistema 1,5-dicarbonilico (Figura 7).

Il successo della reazione di Michael dipende dalla facilità di enolizzazione del partner carbonilico e quindi, ad esempio, i  $\beta$ -chetoesteri che sono substrati molto più acidi ( $pK_a \cong 11$ ) dei corrispondenti chetoni ( $pK_a \cong 20$ ) assicurano rese migliori; d'altra parte la possibilità di decarbossilazione del prodotto finale permette la rimozione della funzionalità attivante (Schema 23).

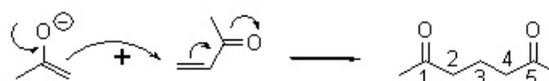
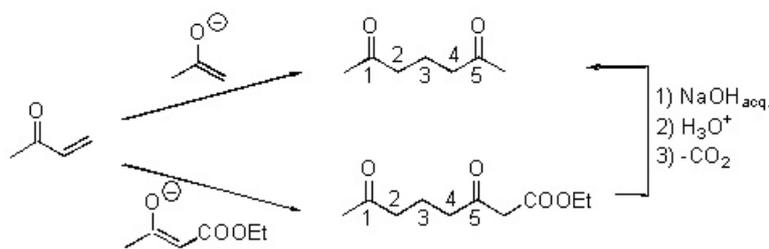


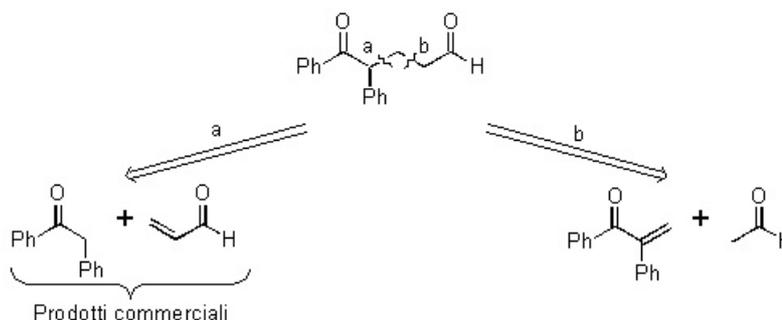
Figura 7



Schema 23

In analisi retrosintetica la sostituzione di un anione enolato con quello di un substrato più facilmente enolizzabile sarà indicata con "attivazione".

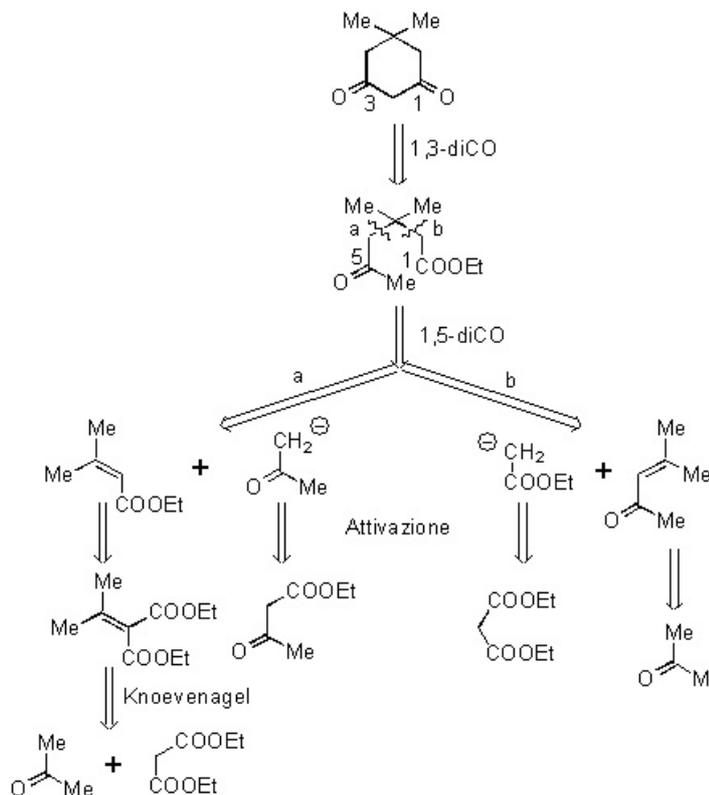
Con i substrati 1,5-dicarbonilici sono sempre possibili due disconnessioni (ad eccezione del caso banale di un composto simmetrico) che difficilmente sono di utilità sintetica paragonabile (Schema 24).



Schema 24

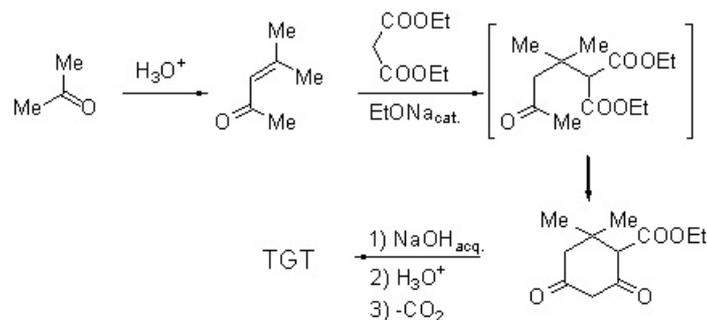
Il confronto delle vie sintetiche suggerite dalla retroanalisi del 4,5-difenil-5-chetopentanal (Schema 24) mostra che, mentre la disconnessione (a) conduce a precursori commercialmente disponibili (fenilacetone ed acroleina), l'altra (b) risulta più lunga ed elaborata in quanto l'accettore di Michael dovrebbe essere preparato per metilazione del fenilacetone. In questo caso, dal punto di vista delle condizioni sperimentali della reazione di Michael, entrambe le sequenze sarebbero accettabili perché propongono substrati carbonilici facilmente enolizzabili.

Nello Schema 25, è riportata l'analisi retrosintetica del 5,5-dimetilcicloesano-1,3-dione (Dimedone) che, oltre a mostrare più casi di condensazione mostra anche il problema dell'attivazione sia di un estere (acetato? malonato) che di un chetone (acetone? acetilacetato) scarsamente enolizzabili. Quanto riportato nello Schema 25 indica che la realizzazione della sequenza sintetica suggerita dalla retrosintesi (b) è certamente più breve dell'altra anche se entrambe non mostrano problemi particolari.



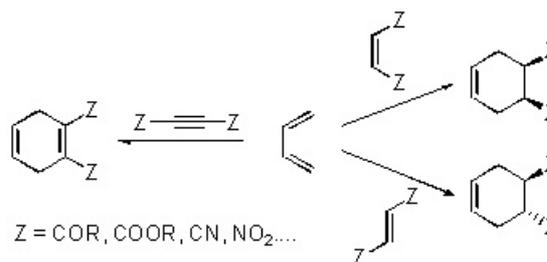
Schema 25

È, in ogni caso, interessante notare come la procedura di sintesi descritta<sup>10</sup> (Schema 26) sia effettivamente molto semplice in quanto, nelle condizioni sperimentali della reazione di Michael il chetodiester ciclizza e fornisce direttamente il 5,5-dimetil-4-carbossietilcicloesano-1,3-dione che viene successivamente saponificato e decarbossilato (Schema 26)<sup>10</sup>.



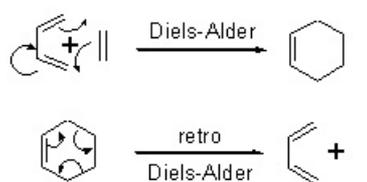
Schema 26

Prendendo spunto da quest'ultimo esempio di sintesi di un prodotto di natura cicloesamica, deve essere ricordato anche un altro importante approccio alla sintesi di tali sistemi basato sulla reazione di cicloaddizione di Diels-Alder che, a partire da un diene ed un dienofilo (alchene o alchino) conduce rispettivamente a derivati cicloesenici o cicloesa-1,3-dienici (Schema 27).\*



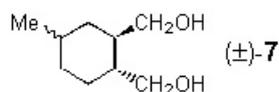
Schema 27

Come è mostrato nello Schema 27, peculiare di questa reazione è il decorso stereochimico che è strettamente correlato alla stereochimica del dienofilo; in analisi retrosintetica la disconnessione dell'anello cicloesenico viene effettuata in modo da ripristinare il diene ed il dienofilo mediante uno spostamento elettronico opposto a quello responsabile della formazione dei legami C-C nella reazione di cicloaddizione (Schema 28).

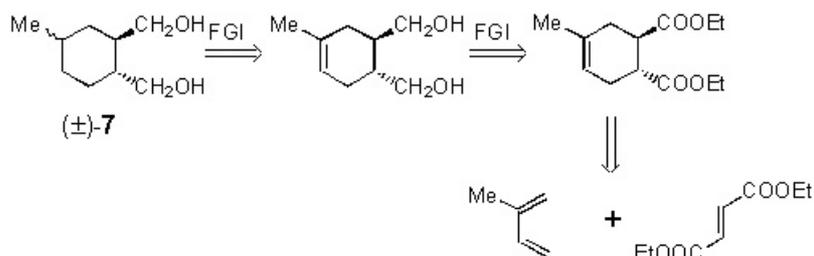


Schema 28

La progettazione di uno schema di sintesi del ( $\pm$ )1,2-diidrossimetil-4-metilcicloesano (**7**) co-stituisce un esempio significativo di retroanalisi che prende in considerazione, proprio, come passaggio chiave, una reazione di Diels-Alder.

Composto ( $\pm$ )-7

Osservando il composto **7** si nota che, mentre non interessa la relazione configurazionale dell'atomo di carbonio metilstituito, è precisata la geometria *trans* tra i due raggruppamenti idrossimetilenici. La struttura cicloesamica del substrato, ma soprattutto la sua stereochimica propone, per la sua sintesi, l'uso della reazione di cicloaddizione di Diels-Alder anche se 1) il residuo cicloesamico è saturo e 2) non sono presenti i classici sostituenti elettronattrattori (Z) utili per il successo della reazione.



Schema 29

**108** non sono presenti i classici sostituenti elettronattrattori (Z) utili per il successo della reazione.

\* La reazione decorre con rese particolarmente elevate quando i dienofili sono caratterizzati da sostituenti (Z) elettronattrattori.

Come mostrato nello Schema 29 è possibile ovviare a questi problemi mediante opportune variazioni di gruppo funzionale ed individuare così le necessarie reazioni per realizzare la sintesi di ( $\pm$ )-**7** (Schema 30).<sup>11</sup>

Un altro interessante esempio è fornito dall'analisi (Schema 31) e dalla relativa sintesi (Schema 32) della ( $\pm$ )-Fencamfamina (**8**) un farmaco con attività stimolante e caratterizzato da una struttura biciclica.

Anche in questo caso la presenza di un anello ciclo-esanico e la stereochimica *trans* dei sostituenti inducono a pensare alla reazione di cicloadizione; su questa base le variazioni di gruppo funzionale vengono pensate allo scopo di introdurre un opportuno Z elettronattrattore [ammina secondaria  $\rightarrow$  ammina primaria  $\rightarrow$  nitrogruppo(Z)] e quindi il necessario doppio legame.

Sebbene sia il ciclopentadiene che l'1-nitro-2-feniletilene siano prodotti commerciali è stata eseguita anche la retrosintesi di quest'ultimo in quanto mostra una interessante applicazione della reazione di condensazione aldolica (condensazione nitroaldolica o reazione di Henry).

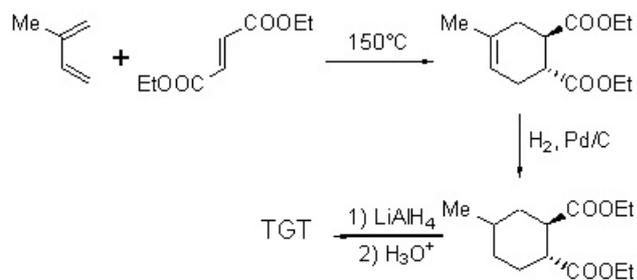
La sintesi,<sup>12</sup> condotta secondo la strategia individuata, è completata dalla reazione di aminazione riduttiva necessaria per ottenere l'ammina secondaria.

Per concludere questa breve ed ovviamente incompleta presentazione delle potenzialità dell'analisi retrosintetica può essere interessante mostrare come, con questa tecnica, si possano ricavare anche spunti per intraprendere nuove indagini.

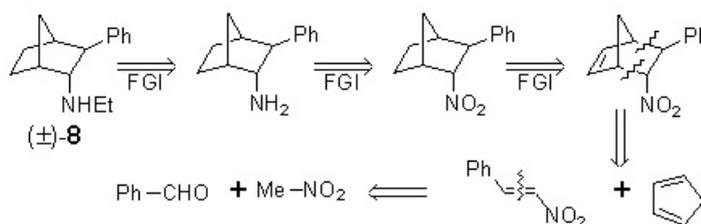
Gli acidi 3-aril-4-amminobutirrici sono composti caratterizzati da attività farmacologica e, poiché la maggior parte delle loro procedure di sintesi è coperta da brevetti industriali, è facile rendersi conto che l'individuazione e la messa a punto di nuove metodologie di sintesi è una interessante occasione di ricerca.

A questo proposito l'analisi retrosintetica può costituire un momento di riflessione dal quale trarre nuovi spunti.

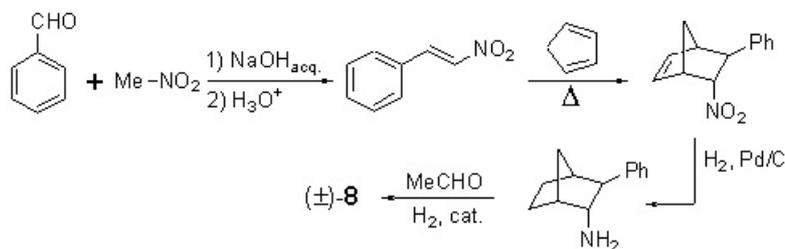
Analizzando, ad esempio, l'acido ( $\pm$ )-3-*p*-clorofenil-4-amminobutirrico (**9**) (Baclofen), un rappresentante della famiglia dei miorilassanti, la prima osservazione che si può fare riguarda il raggruppamento amminico e la necessità di introdurlo nello stadio finale della sintesi; in retroanalisi, questo equivale a trasformarlo in altre funzionalità che possono essere convertite in ammine primarie (Figura 8).



Schema 30



Schema 31



Schema 32

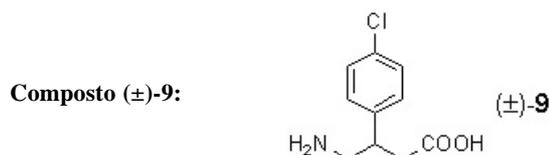
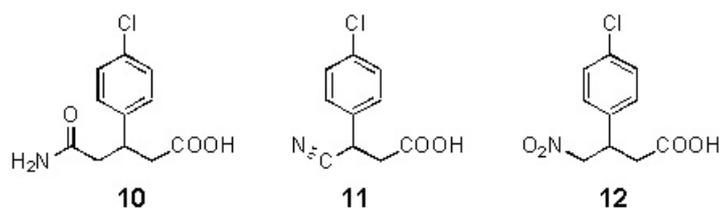


Figura 8

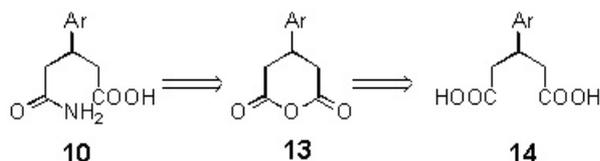
Tra le molte possibilità quelle indicate in Figura 8 appaiono come le più interessanti in quanto la loro presenza in molecola individua ulteriori strutture (10-12) di particolare interesse per la retroanalisi.

Anche se la sintesi della semi-ammido 10 può, a prima vista, apparire problematica, di fatto, se si considera la posizione relativa dei due gruppi funzionali, risulta immediata la sua preparazione per aminolisi dell'anidride 13 a sua volta accessibile per disidratazione del diacido 14 (Schema 33).

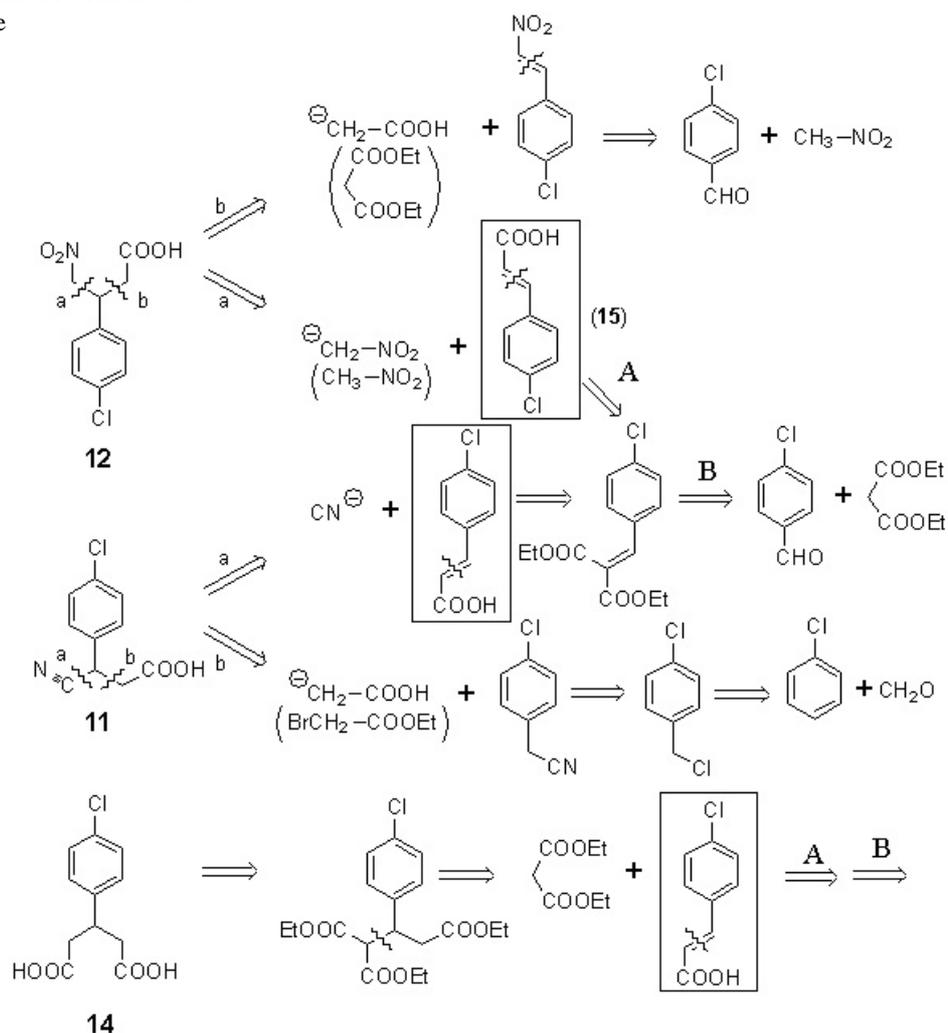
In ultima istanza quindi i possibili precursori di ( $\pm$ )-9 potrebbero essere 11, 12 e 14 e la retrosintesi può essere proseguita al fine di individuare i loro schemi di sintesi tenendo, tuttavia, presente che la trasformazione di 14 in ( $\pm$ )-9 richiederà un maggior numero di passaggi (14  $\rightarrow$  13  $\rightarrow$  10  $\rightarrow$  degradazione di Hofmann). Le retrosintesi di 11, 12 e 14 illustrate nello Schema 34 indicano che l'acido  $\alpha,\beta$ -insaturo 15 costituisce un intermedio comune a tre diverse sequenze



Composti 10, 11, 12



Schema 33



Schema 34

Questa osservazione costituisce un ottimo criterio di scelta dovendo effettuare, per la prima volta, la sintesi del Baclofen: se una delle sequenze non risultasse soddisfacente, lo stesso intermedio potrebbe essere utilizzato per tentarne un' altra. Altri interessanti criteri di scelta potrebbero scaturire dalla valutazione dei costi dei precursori, dei solventi, di eventuali altri reattivi [es. basi necessarie per le reazioni di condensazione: NaOH (per la condensazione dell' aldeide benzoica con nitrometano), EtONa (per le condensazioni coinvolgenti il malonato dietilico), litio diisopropilamido (per l' alchilazione del fenilacetone) ecc.] e dall' economia degli atomi di carbonio.

A questo proposito si può, ad esempio, osservare che, nelle reazioni coinvolgenti il malonato dietilico (EtOOC-CH<sub>2</sub>-COOEt), per trasferire un raggruppamento CH<sub>2</sub>-COOEt viene perduta una porzione non trascurabile di reagente; l' impiego del cianuro o del nitrometano, è quindi, sotto questo aspetto, più economico.

Infine, lo studio della prima sequenza retroanalitica dello Schema 34, e la necessità dettata dall' economia degli atomi di carbonio, suggerirebbe l' uso di un altro equivalente sintetico del -CH<sub>2</sub>COOEt: ad esempio il reagente di Reformatsky (BrZnCH<sub>2</sub>COOEt).

A priori ed in mancanza del supporto della letteratura per questa reazione, non è possibile prevedere il grado di selettività dell' addizione coniugata di tale reagente al nitrostirene e solo la verifica sperimentale può dimostrare l' eventuale validità di questa nuova idea. Recentemente<sup>13</sup> è stato trovato che la reazione decorre con rese pressoché quantitative, è altamente selettiva e costituisce un interessante metodo alternativo di sintesi sia del Baclofen che dei suoi analoghi strutturali.

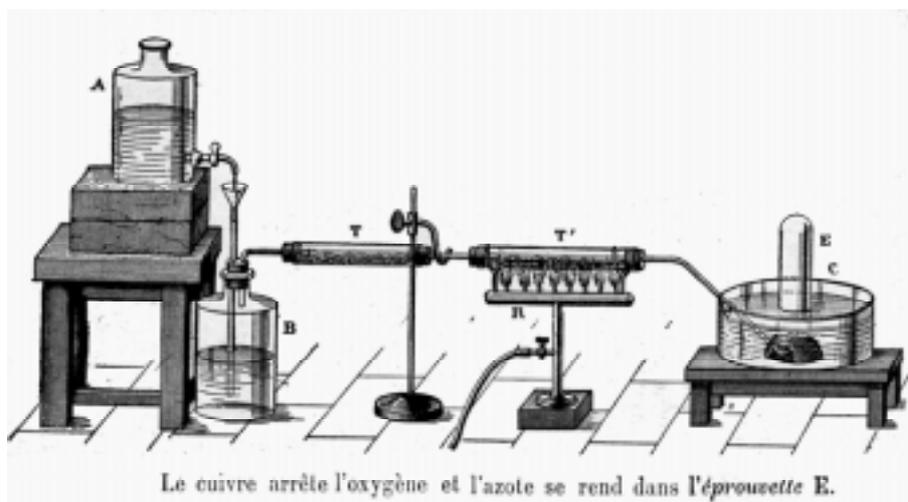
Per concludere questa presentazione dell' analisi retrosintetica, che non ha assolutamente la pretesa di essere

stata esauriente nella dimostrazione di tutta la potenzialità della retrosintesi,<sup>1-4</sup> spero tuttavia di aver suscitato curiosità sufficiente per promuoverne l' adozione non solo per risolvere i problemi di sintesi ma anche per modificare il metodo di insegnamento della chimica organica.

L' uso dell' approccio retroanalitico potrebbe infatti aiutare a rimuovere la convinzione che la memoria è fondamentale per lo studio di questa disciplina che invece, grazie alla sua pressoché completa razionalizzazione, può essere affrontata, studiata e fatta propria con poca memoria ma con grande rigore e logica.

#### Bibliografia

1. S. Warren in "Designing Organic Syntheses", J. Wiley and Sons, 1979.
2. S. Warren in "Organic Synthesis: a Disconnection Approach", J. Wiley and Sons, 1982.
3. E. J. Corey, X. M. Cheng in "The Logic of Chemical Synthesis", J. Wiley and Sons, 1989.
4. K. C. Nicolaou, E. J. Sorensen in "Classics in Total Synthesis" VCH, 1996.
9. H. O. House in "Modern Synthetic Reactions" W. A. Benjamin, 1972; F. A. Carey, R. J. Sundberg in "Advanced Organic Chemistry", Parte B, Plenum Press, 1977; L. Colombo, C. Gennari, C. Scolastico in "Tecniche e Sintesi Speciali Organiche" Parte A, CLUED (Milano), 1980; J. March in "Advanced Organic Chemistry", 3<sup>a</sup> Ed., J. Wiley and Sons, 1985.
10. R. L. Shriner, H. R. Tood, *Org. Synth. Coll.*, **2**, 200 (1943).
11. F. V. Brutcher, D. D. Rosenfeld, *J. Org. Chem.*, **29**, 3154 (1964).
12. G. I. Poos, J. Kleis, R. R. Wittekind, J. D. Rosenau, *J. Org. Chem.*, **26**, 4898 (1961).
13. R. Menicagli, S. Samaritani, *Tetrahedron*, **52**, 1425 (1996).



# La chimica e le ricerche sulla complessità

## III. La termodinamica, Gaia e l'etica dell'ambiente

---

LUIGI CERRUTI (\*)

---

*Termodinamica e chimica hanno contribuito potentemente allo studio degli ecosistemi, mettendo in luce molti aspetti della loro complessità. Le origini storiche della termodinamica dei processi irreversibili sono trattate come premessa agli sviluppi della teoria di Gaia. Gaia costituisce un argomento privilegiato per una didattica multidisciplinare, ed è intrinsecamente un tema educativo per le sue forti implicazioni legali ed etiche.*

Lo studio della complessità in chimica permette di articolare un percorso conoscitivo molto interessante, e per certi aspetti addirittura sorprendente. Infatti a partire dalle teorie generali della termodinamica dei processi lontani dall'equilibrio si giunge a confrontarsi con l'etica dell'ambiente; ponte di passaggio da un polo all'altro della discussione sarà la teoria di Gaia. Anche nell'elaborazione qui tracciata a grandi linee il percorso non è brevissimo, e quindi conviene entrare subito nel merito di alcuni contributi che il pensiero termodinamico ha dato allo studio della complessità da un punto di vista che privilegia la chimica.

### 1. Lontano dall'equilibrio, da Turing a Gaia

Non certo a caso Giovanni Villani ha sollevato il problema di quale sia la disciplina di riferimento della termodinamica.[1] La storia della termodinamica del Novecento sembrerebbe confermare l'opinione di Villani, del tutto condivisibile, che sia la chimica e non la fisica la disciplina che maggiormente utilizza una visione termodinamica dei sistemi e dei mutamenti che vi possono avvenire. In effetti è sempre difficile classificare le specialità scientifiche, non meno che etichettare gli scienziati, tuttavia sono operazioni che si fanno usualmente e così diremo con una certa tranquillità che i sette scienziati di cui parleremo in questa sezione sono un matematico (Turing), tre chimico-fisici (Onsager, Prigogine, Soddy), un ecologo (Odum), e un ricercatore tutto-fare (Lotka).

#### 1.1 Il contributo di Alan Turing

Se le reazioni oscillanti sono certamente l'aspetto più visibile e spettacolare della chimica della complessità, il contributo teorico più famoso in questo campo è dovuto al grande matematico e logico inglese Alan Turing. Nella nostra storia Turing compare nel 1952, quando era Direttore del laboratorio di calcolo dell'Università di Manchester, per un articolo pubblicato con un titolo semplice e affascinante: "La base chimica della morfogenesi". Turing è consapevole di

muoversi su un inesplorato confine pluridisciplinare, e avverte il suo lettore che "la piena comprensione dell'articolo richiede buone conoscenze di matematica, un po' di biologia, e un po' di chimica elementare". Nell'articolo il matematico inglese modella all'estremo i sistemi 'biologici' considerati, un atteggiamento comprensibile visto che un essere umano adulto è originato da un'unica cellula, ed è costituito da 200 tipi diversi di cellule per un totale approssimativo di un milione di miliardi di cellule. L'Autore postula l'esistenza di sostanze chimiche, chiamate 'morfogeni', che sono presentate in questi termini:

*"I sistemi effettivamente considerati consistono di masse di tessuti che non stanno crescendo, ma all'interno dei quali certe sostanze stanno reagendo chimicamente, e attraverso i quali esse stanno diffondendo. Queste sostanze sono chiamate morfogeni [...] Non si intende che abbiano un qualsiasi significato esatto, ma sono il tipo di sostanze considerate da questa teoria"* (Turing, 1952).

Ai morfogeni Turing fa appartenere gli ormoni (diffusibili) e i geni (non diffusibili), accomunati dalla loro attività catalitica. Con una innovazione fondamentale rispetto a precedenti trattazioni che avevano preso in considerazione *reazioni autocatalitiche*, nel saggio del 1952 Turing tratta anche i *fenomeni di diffusione*, così che può prevedere che sistemi chimici con retroazione, in cui non tutte le specie diffondano con la stessa velocità, possono portare sia ad oscillazioni, sia alla formazione spontanea di *patterns*, strutture spaziali ben riconoscibili. L'applicazione più 'visibile' fatta da Turing a questo proposito riguarda la pigmentazione negli animali di cui presenta un 'modello', ottenuto con qualche ora di calcolo manuale. Le tesi di Turing suscitarono grande interesse fra i biochimici, e il matematico tenne diversi seminari sull'argomento, prima di morire suicida il 7 giugno 1954.<sup>1</sup> Tuttora sono dette *di Turing* le *strutture spaziali* e temporali che nascono dall'interferenza di reazioni autocatalitiche e di processi di diffusione.

#### 1.2 I contributi di Onsager e di Prigogine

Per 'termodinamica classica' si intende la trattazione di sistemi e processi che deriva dall'assunzione di tre leggi fondamentali, riferite a tre *impossibilità*: che esista il moto perpetuo, che il calore passi da un corpo meno caldo ad uno più caldo, che si possa raggiungere sperimentalmente lo zero assoluto. Pur nella sua potenza descrittiva e predittiva la termodinamica classica ha due limiti sostanziali, in quanto può essere applicata rigorosamente solo ai sistemi in equilibrio e solo ai processi reversibili. Per certi aspetti la termodinamica classica non potrebbe essere *mai* applicata ai processi reali, che in nessun caso sono completamente reversibili, e certamente essa non riguarda un essere vivente qualsiasi, che essendo un sistema aperto, sede di continui processi di trasformazione, si trova in ogni istante lontano

---

<sup>1</sup> Sulla figura di Turing, eccentrica fino a diventare tragica, si veda:[2]

112 (\*) Dipartimenti di Chimica Generale e Organica Applicata, Università di Torino, C.so Massimo D'Azeglio, 48 10100 Torino [luigi.cerruti@unito.it](mailto:luigi.cerruti@unito.it)

dall'equilibrio. I due limiti, della reversibilità e dell'equilibrio, sono stati rimossi da due chimico-fisici: Onsager, un norvegese naturalizzato cittadino statunitense, e Prigogine, un russo naturalizzato cittadino belga.

Lars Onsager pubblicò i due articoli che molti anni dopo gli valsero il premio Nobel nel 1931, quando aveva una modesta posizione accademica nel Dipartimento di Chimica della Brown University, una delle più antiche Università americane. Complessivamente i due contributi occupano 37 pagine a stampa, ed nel 1968 è stato detto che "a giudicare dal numero di pagine questo contributo è uno dei più brevi che sia stato mai ricompensato con il premio Nobel".<sup>2</sup> Il titolo degli articoli doveva allora apparire piuttosto enigmatico ("Relazioni reciproche nei processi irreversibili") e non attirò l'attenzione dei lettori della *Physical Review*. Però il contenuto dell'articolo aveva interessato molto la direzione del prestigioso giornale di fisica americano, perché il manoscritto giunto in redazione l'otto dicembre 1930 fu pubblicato il 15 febbraio del 1931, dopo poco più di due mesi. All'inizio della sua argomentazione Onsager chiarisce quale sia l'oggetto della sua indagine (i processi irreversibili accoppiati), e cita i ricercatori che lo hanno preceduto su questa linea di ricerca. Già qui verificammo l'eccezionalità del contributo del nostro chimico-fisico in quanto i suoi riferimenti bibliografici rinviano essenzialmente a contributi di William Thomson e di Hermann Helmholtz, e quindi a due dei padri fondatori della termodinamica. Onsager discute in particolare il lavoro di Thomson, pubblicato nel 1851, che riguardava l'effetto termoelettrico, un effetto la cui stessa scoperta ci chiarisce cosa siano i processi irreversibili accoppiati di cui stiamo parlando.

Nel 1822 il fisico Thomas Johann Seebeck scoprì che se in un circuito formato da due diversi conduttori metallici si stabilisce fra i metalli una differenza di temperatura, si origina una differenza di potenziale e un flusso di corrente. Seebeck stabilì che la differenza di potenziale è proporzionale alla differenza fra le temperature alle due giunzioni; la costante di proporzionalità è chiamata 'coefficiente di Seebeck' ( $Q$ ). Una dozzina di anni dopo, nel 1834, il francese Jean Charles Peltier, orologiaio e fisico per diletto, scopre il fenomeno 'reciproco': se si fa fluire una corrente in un circuito bimetallico si origina una differenza di temperatura fra i due metalli. Anche in questo caso si ha un coefficiente di proporzionalità ( $\Pi$ ) il fra il flusso di calore e l'intensità della corrente. Quando Thomson si interessò di questi fenomeni 'accoppiati' collegò i due coefficienti attraverso la relazione:

$$\Pi = T \cdot Q \quad (1)$$

dove  $T$  è la temperatura assoluta.<sup>4</sup> Va però notato – come fece Onsager – che la derivazione di Thomson è soltanto quasi-termodinamica, infatti lo stesso fisico inglese affermò che la sua argomentazione era incompleta, e che la validità della relazione (1) doveva essere stabilita su una base sperimentale. Onsager quindi si stava avviando su un terreno assolutamente incognito, e per fare questo partì dall'assun-

zione della validità di un 'principio di reversibilità microscopica': all'equilibrio, o molto vicini all'equilibrio, tutti i processi microscopici si svolgono con eguale velocità nelle due direzioni. È questa una assunzione usuale nelle nostre (dei chimici) trattazioni di cinetica, ma ora per comprendere rapidamente il senso delle relazioni di reciprocità di Onsager ci conviene ricorrere ad una loro presentazione formale.

Consideriamo un flusso termodinamico  $J_k$  (ad es.: un flusso di calore, la diffusione di uno ione) e la forza coniugata generalizzata  $X_k$  (ad es.: un gradiente di temperatura, un gradiente di concentrazione). Con questa notazione la velocità di produzione dell'entropia dei processi irreversibili che avvengono in un sistema può essere scritta nella forma:

$$\sigma = \sum_k J_k X_k \quad (2)$$

La produzione di entropia data dalla somma dei contributi di ciascun processo irreversibile è uno dei cardini della termodinamica di questi processi. Un altro punto fondamentale è il ricorso a relazioni lineari fra i flussi  $J_i$  e le forze generalizzate  $X_j$ :

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j \quad (3)$$

Le relazioni (3) sono chiamate 'equazioni fenomenologiche' e i coefficienti  $L_{ij}$  sono detti 'coefficienti fenomenologici'. I rapporti fra i coefficienti fenomenologici sono dominati<sup>4</sup> dalle relazioni di reciprocità dimostrate da Onsager:

$$L_{ij} = L_{ji} \quad (4)$$

Al di là della evidente bellezza estetica, comune a tutte le relazioni di simmetria, la (4) ha un preciso significato fisico, in quanto generalizza quella 'interferenza' fra i flussi di calore e di elettricità, e i relativi gradienti di temperatura e di potenziale elettrico, che abbiamo visto essere alla base dell'effetto Seebeck-Peltier.

Gli articoli di Onsager del 1931 segnano l'inizio della trattazione termodinamica rigorosa dei processi irreversibili. Il passo in avanti era notevolissimo, però si rimaneva ancora ancorati a sistemi in equilibrio. Una trattazione efficace<sup>5</sup> dei sistemi lontani dall'equilibrio si ebbe solo con Ilya Prigogine. Prigogine era nato in Russia alla vigilia della Rivoluzione; dopo una permanenza in Germania dal 1921 al 1929, la sua famiglia si trasferì in Belgio. Prigogine si laureò in chimica nel 1941 alla Université Libre di Bruxelles, dove al giovane chimico fisico venne offerta una visione della termodinamica che accanto all'applicazione sperimentale rigorosa della termodinamica dell'equilibrio considerava (eccezionalmente!) lo studio dei processi irreversibili. I lavori iniziali di Prigogine in quest'ultimo campo furono accolti con un certo scetticismo, anche perché la vera prima apertura verso una comprensione degli stati lontani dall'equilibrio si ebbe solo con la formulazione del concetto di 'struttura dissipativa', proposto nel 1967 da Prigogine e G. Nicolis con un articolo pubblicato sul *Journal of Chemical Physics*. Nell'introduzione all'articolo i due scienziati presentano la discussione

<sup>2</sup> S. Claesson, "Discorso di presentazione" per l'assegnazione del Nobel a Onsager, <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1968/press.html>.

<sup>3</sup> Thomson giunse a prevedere un terzo 'effetto' termoelettrico, che porta il suo nome: se in un conduttore omogeneo si crea un gradiente di temperatura si ottiene un flusso di corrente.

<sup>4</sup> Il termine è di I. Vavrukh [3]. Letto all'indirizzo: [http://chemicke-listy.vscht.cz/full/2002\\_05\\_01.pdf](http://chemicke-listy.vscht.cz/full/2002_05_01.pdf).

<sup>5</sup> L'efficacia a cui mi riferisco non è quella *astratta ed epistemologica*, 'intrinseca' al contenuto del singolo contributo scientifico, ma a quella *concreta e storica* dell'impatto di quel certo contributo sulla comunità scientifica, e quindi alla sua conseguente *fertilità diffusa*. Detto in chiaro: un lavoro scientifico, splendido e ricchissimo di prospettive di sviluppo, rimane inefficace fin quando non è letto, compreso e accettato da altri scienziati.

dettagliata delle conseguenze del meccanismo autocatalitico introdotto da Turing, e anticipano il risultato principale. Per simili sistemi è possibile calcolare un valore critico dell'energia libera, in corrispondenza del quale avviene "una rottura della simmetria che porta da uno stato stazionario omogeneo ad uno inomogeneo"; se si supera il valore critico "[La] soluzione per lo stato stazionario corrisponde ad una situazione *inomogenea*; questa situazione è mantenuta da un sottile bilanciamento fra velocità di reazione e diffusione". Inoltre dalla condizione di minimo della produzione di entropia gli Autori ricavano che "il flusso di energia necessario per mantenere lo stato stazionario porta ad un *aumento di ordine* che varia in modo continuo con  $\dot{A}T$ ". Il sistema studiato da Prigogine e Nicolis è abbastanza complesso, in quanto consiste di due reagenti A e B, due prodotti finali D ed E, due intermedi, X ed Y, e quattro catalizzatori. Al termine di calcoli laboriosi gli Autori concludono che "la produzione della sostanza finale è favorita particolarmente al centro del sistema, mentre l'altra sostanza finale D è prodotta ad una velocità praticamente indipendente dallo spazio. In modo corrispondente B è consumata principalmente vicino al centro". È questa una "struttura dissipativa", dove "una perdita di entropia alla transizione è correlata al mantenimento di una organizzazione nello spazio". Avendo dimostrato la relazione fra organizzazione e dissipazione ne sottolinearono la possibile rilevanza in biologia teorica: "È chiaro come le strutture biologiche possano originarsi solo in un mezzo dissipativo e siano mantenute da un rifornimento continuo di energia. Ora, l'instabilità che abbiamo studiato fornisce precisamente quel legame fra organizzazione e dissipazione".

A Prigogine fu assegnato il premio Nobel per la chimica nel 1977, dieci anni dopo i contributi qui citati. Fin dall'esordio della conferenza di accettazione del premio Prigogine pone la necessità di descrivere strutture complesse, come una città o un essere vivente, in modo tale da giungere a dimostrare che esistono situazioni di non-equilibrio che possono essere una *fonte di ordine* (termini sottolineati nel testo originale). Il chimico matematico belga si riferisce alle strutture dissipative come quegli stati dinamici della materia che posseggono le caratteristiche richieste: "Queste strutture sono ora di particolare interesse in chimica e in biologia. Esse manifestano un carattere coerente, supermolecolare che porta a nuove manifestazioni, molto spettacolari; ad esempio nei cicli biochimici che coinvolgono enzimi oscillatori".<sup>6</sup>

### 1.3 Termodinamica ed ecologia

Il rapporto tra termodinamica ed ecologia si è costituito con estrema lentezza, per una diversa immaturità disciplinare. Abbiamo visto come il pensiero termodinamico abbia cominciato a risolvere il problema dell'irreversibilità solo a partire dagli anni 1930, mentre l'ecologia come disciplina accademica iniziò ad affermarsi solo dopo la seconda guerra mondiale, sotto la spinta di problemi concreti, dal controllo della radioattività alle piogge acide, e di denunce clamorose come la *Silent Spring* di Rachel Carson (1962). Anche in questo caso ciò che ci pare evidente (l'importanza dei flussi di energia in natura) ha stentato ad affermarsi. Consideriamo brevemente i contributi di Lotka e Soddy che hanno preceduto di qualche decennio l'attività fondante di Eugene Odum.

Alfred Lotka nacque nell'attuale Ucraina da genitori americani, si laureò in scienze a Birmingham e studiò fisica prima in Germania, a Lipsia, e poi negli Stati Uniti alla Cornell University. Nella lunga e varia vita professionale Lotka violò più volte le barriere disciplinari del mondo accademico, dando contributi significativi alla chimica, alla biologia, alla statistica, all'ecologia.<sup>7</sup> Qui ci interessa particolarmente il pensiero di Lotka nel campo dell'ecologia. Nel 1925 Lotka pubblicò a Baltimora un volume dal titolo "Elementi di biologia fisica". L'aspetto olistico della ricerca di Lotka risulta chiaramente da questo passo:

*"Troveremo parecchie ragioni perché dovremmo prendere in considerazione l'evoluzione come un tutto del sistema (organismo più ambiente). Può sembrare a prima vista che si avrebbe così un problema più complicato di quello che si avrebbe se si considerasse solo una parte del sistema. Ma risulterà chiaro che le leggi fisiche che governano l'evoluzione prendono con ogni probabilità una forma più semplice quando sono riferite al sistema come un tutto piuttosto che ad una sua qualsiasi parte".*[5]

Lotka viene spesso definito come un 'chimico' anche in questo contesto ecologico, probabilmente per la sua concezione di fondo dell'ecosistema come una macchina in senso termodinamico. Da questo punto di vista gli scambi di materia e di energia fra i componenti dell'ecosistema potevano essere descritti da un insieme di equazioni, e la 'macchina ecologica' obbediva (ovviamente) ai principi della termodinamica.

Frederick Soddy è entrato nella storia della chimica e della scienza come lo studioso che ha 'sistemato' le serie radioattive e chiarito il concetto di isotopo. Soddy cominciò a pubblicare gli esiti delle sue ricerche in campo economico subito dopo l'assegnazione del premio Nobel per la chimica, avvenuta nel 1921. Nel 1922 Soddy pubblicava a Londra un testo dal titolo emblematico (*Cartesian Economics*) in cui sosteneva che una teoria economica che volesse essere esauriente doveva tener conto, anzi assumere come guida i principi delle scienze sperimentali:

*"La vita non deriva la totalità della sua energia o potenza fisica da qualcosa che sia contenuta nella materia vivente, e ancor meno da una divinità esterna, ma solamente dal mondo inanimato. Essa dipende per tutte le necessità della sua continuazione fisica dai principi della macchina a vapore. I principi e l'etica di tutte le convenzioni umane non possono andare oltre quelli della termodinamica"* [6]

Sono parole profetiche, e come molte profezie rimasero e rimangono del tutto inascoltate. È il pensiero termodinamico ad indirizzare la ricerca di Soddy, ed è seguendo questa traccia che nel 1926 il chimico-fisico-economista inglese pubblica un testo in cui giunge alla distinzione fra 'ricchezza reale' e 'ricchezza virtuale', un risultato che sarà poi richiamato in diversi contesti specialistici. Soddy rileva che la ricchezza reale cresce con i ritmi della natura, e si 'esaurisce', si deprezza nel tempo una volta che sia stata trasformata in capitale sotto forma di beni; la ricchezza virtuale è invece costituita dal sistema debiti/crediti e apparentemente può crescere indefinitamente ed esponenzialmente. La distinzione è netta, perché i beni hanno *dimensioni fisiche* determinate, mentre il debito è una *quantità matematica* puramente 'pensata', priva di consistenza fisica. Diversamente dai beni, i debiti possono essere creati con "un cenno della mano" o un "atto della mente":

<sup>6</sup> Per una trattazione più diffusa e la bibliografia originale di Prigogine si veda [4]

<sup>7</sup> Fra i contributi alla chimica e alla biologia sono da citare almeno quelli sulle reazioni oscillanti, pubblicati nel 1910 e nel 1920.

*“I debiti sono soggetti alle leggi della matematica piuttosto che a quelle della fisica. All’opposto della ricchezza, che è soggetta alle leggi della termodinamica, i debiti invecchiando non si decompongono. Al contrario, essi crescono ad un tanto all’anno, secondo le ben note leggi matematiche dell’interesse semplice e composto”.*[7]

La ‘morale’ della distinzione di Soddy è chiara, in quanto un simile fenomeno esponenziale non può concludersi che in modo catastrofico.<sup>8</sup>

Il mondo accademico ufficiale considerò l’impegno di Soddy nel campo economico come l’intrusione di un ciarlatano, che aveva abbandonato il proprio campo di competenza per recitare una parte che non gli spettava. La cronologia del tardato successo del pensiero economico di Soddy dimostra che non bastò una seconda guerra mondiale, ma ci volle la crisi energetica degli anni 1970 per far prendere sul serio il contributo ‘non autorizzato’ dello scienziato inglese.

Uno degli esiti più felici della confluenza dei contributi di Lotka e Soddy nella ricerca degli ecologi è stato il modo di considerare gli ecosistemi come entità viventi. Con qualche ‘passaggio’ intermedio che qui trascuriamo l’approccio olistico si sviluppò a pieno nell’attività di Eugene P. Odum, uno dei fondatori dell’ecologia degli ecosistemi negli Stati Uniti. Eugene Odum insieme al fratello Howard pubblicò nel 1953 i *Fundamentals of Ecology*, un testo che divenne veramente importante nel campo e si dimostrò (dopo decenni)<sup>9</sup> particolarmente adatto per i chimici impegnati nella chimica dell’ambiente. Per l’incredibile periodo di dieci anni il testo di Odum rimase l’unico in tutto il mondo a trattare l’ecologia degli ecosistemi, un indirizzo di ricerca che ci può sembrare (ora!) ovvio ma che allora era estremamente innovativo in quanto cercava di connettere acque, piante, animali e clima.

Odum espone con chiarezza il suo ‘credo’ nel 1964, in veste di Presidente della Ecological Society of America. Sulla rivista *BioScience* affermò che la “ecologia dei sistemi” doveva trattare il mondo come un tutto unico, portando ad integrazione le diverse specialità che studiavano gli ecosistemi. Le assunzioni alla base della nuova disciplina erano nette: l’ecosistema è l’unità base della natura; la diversità biologica aumenta la stabilità dell’ecosistema; l’omeostasi è importante a tutti i livelli dello spettro biologico; il tutto è maggiore delle parti, e quindi i metodi di ricerca riduzionisti non possono spiegare adeguatamente i sistemi viventi.[8] Probabilmente nessun altro studioso ha fatto di più per rendere il termine ‘ecosistema’ scientificamente dignitoso. Al centro delle sue interpretazioni degli ecosistemi vi sono sempre stati i flussi di energia, e come altri ricercatori sugli ecosistemi li ha considerati come entità viventi. Odum aderì presto all’ipotesi di Gaia, e in una intervista rilasciata nel 1998 confermò il proprio consenso “L’ipotesi di Gaia è certamente olistica ed è ora generalmente accettata – sebbene vi sia molta discussione se sia auto-organizzata. Non solo gli organismi si sono adattati a differenti ambienti fisici; essi anche modificano e migliorano l’ambiente per il loro proprio bene – proprio come le persone”.[9] Vedremo tra breve come questa tesi degli ecosistemi come organismi viventi abbia trovata un’inaspettata conferma in documenti internazionali.

<sup>8</sup> Non può esistere uno ‘sviluppo’ che sia ‘compatibile’ e ‘perpetuo’. Qualsiasi incremento cumulativo (sia pure dell’1%) di qualsiasi grandezza non può non portare ad un andamento divergente, e in natura i processi divergenti che riguardano entità reali o si assestano sull’andamento della curva logistica, appiattendosi in un ‘pianerottolo’, o si concludono in una catastrofe.

<sup>9</sup> *Fundamentals of Ecology* fu tradotto in 12 lingue. La traduzione italiana fu pubblicata nel 1973, a venti anni esatti dalla prima edizione americana.

<sup>10</sup> Si può dire ‘artigianalmente’ solo perché Lovelock usò materiali di recupero; in fin dei conti tra questi materiali vi era una forte sorgente di radiazioni beta, costituita da stronzio 90.

## 2. Gaia e l’etica dell’ambiente

Molti scienziati hanno dato contributi di rilievo alla teoria che la Terra sia un unico essere vivente, immenso se misurato sulla nostra scala. Anche in questo caso limiteremo drasticamente la trattazione, riferendoci solo ai ‘genitori’ della teoria, il chimico John Lovelock e la biologa Lynn Margulis.

### 2.1 I contributi di Lovelock e di Margulis

James Lovelock era un giovane studente-lavoratore quando scoppiò il secondo conflitto mondiale, fece quindi i suoi studi di chimica nelle condizioni precarie dell’Inghilterra in guerra; si guadagnò comunque una borsa di studio e poté frequentare l’Università di Manchester come studente a tempo pieno. Dopo la laurea Lovelock entrò nel National Institute for Medical Research, a Londra, dove inventò un apparato denominato *Electron Capture Detector*, il cui primo esemplare fu costruito personalmente e artigianalmente dal giovane chimico.<sup>10</sup> L’apparato di Lovelock fu impiegato (da altri) in delicate analisi, fra cui quelle sui residui dei pesticidi che furono una delle basi sperimentali del già citato libro sulla *primavera silenziosa* di Rachel Carson. Nell’aprile del 1961 Lovelock fu contattato dalla NASA per entrare a far parte del progetto di esplorazione della Luna, in qualità di esperto di progettazione di strumenti di analisi chimico-fisica.

All’inizio degli anni 1960 Lovelock si trovò quindi a lavorare per la NASA, presto spostato su un nuovo progetto, assai stimolante: la possibilità di ricavare informazioni sull’esistenza o meno della vita su un pianeta a partire dalla conoscenza della composizione della sua atmosfera. Il primo passo decisivo verso Gaia fu compiuto quando con la collaborazione di Dian Hitchcock applicò al nostro pianeta nuove congetture sul rapporto fra composizione atmosferica e presenza della vita. Abbiamo ricordato più sopra che ogni essere vivente è un sistema lontano dall’equilibrio, in grado di mantenere un basso livello di entropia riversando altrove ogni inevitabile incremento. Ciò che Lovelock e Hitchcock constatarono fu appunto che l’atmosfera terrestre aveva una composizione molto lontana dall’equilibrio. Un caso di grande rilievo era la presenza simultanea di metano e di ossigeno, due gas che sotto l’azione della luce solare reagiscono, dando anidride carbonica e acqua. Per mantenere uno stato stazionario il metano deve essere introdotto nell’atmosfera in quantità pari a 500 milioni di tonnellate all’anno; di conseguenza 1000 milioni di tonnellate di ossigeno devono ‘rimpiazzare’ ogni anno la pari quantità ‘bruciata’ con il metano. Secondo i due scienziati era statisticamente impossibile che una simile imponente dinamica avesse un’origine esclusivamente abiotica. Lovelock continuò le sue ricerche per parecchi anni, rendendo pubblica l’ipotesi di Gaia in un convegno tenuto a Princeton nel 1968, e pubblicando dopo un ulteriore decennio la sua opera fondamentale sul “nuovo modo di considerare la vita sulla Terra”. In questo testo viene data una definizione di Gaia:

*“Da allora [1968] abbiamo definito Gaia come una entità complessa che coinvolge la biosfera, l’atmosfera, gli oceani e il suolo della Terra; la totalità costituisce un sistema cibernetico o con retro-azione che cerca (seeks) un am-*

biente fisico e chimico ottimale per la vita su questo pianeta".[10]

L'elaborazione dell'ipotesi di Gaia ebbe una svolta importante nel 1971, quando Lovelock iniziò la collaborazione con Lynn Margulis, una microbiologa che aveva avviato una nuova e clamorosa linea di ricerca cinque anni prima. Margulis aveva ottenuto il Ph.D. nel 1963 a Berkeley, e nel 1966 era un semplice *instructor* alla Boston University. In quell'anno scrisse sull'origine delle cellule eucariotiche un articolo che fu respinto in rapida successione da una quindicina di riviste. Poi – finalmente! – James F. Danielli, il Direttore del *Journal of Theoretical Biology*, decise di pubblicare il singolare contributo, e incoraggiò Margulis a proseguire nel suo lavoro. Danielli aveva visto giusto, dato che l'Autrice, fino ad allora del tutto sconosciuta, ricevette ottocento richieste di reprint.[11] Nell'articolo la giovane biologa aveva proposto una ipotesi di grande respiro, che imputava un'origine simbiotica agli organelli cellulari che, come i mitocondri, hanno un loro particolare corredo di DNA. Non possiamo seguire qui gli sviluppi importanti della teoria di Margulis, ci basta sottolineare che la biologa americana è riuscita a trasformare una ipotesi eterodossa in una teoria largamente accettata.

Fino all'incontro con Margulis l'ipotesi di Gaia aveva rispecchiato essenzialmente il punto di vista di un chimico-fisico, per cui le profonde conoscenze in microbiologia della ricercatrice fecero sì che l'ecosistema batterico della Terra diventasse l'infrastruttura fondamentale per comprendere la nascente fisiologia di Gaia. Margulis ha detto che ci volle parecchio tempo prima di afferrare il senso profondo (biologico) delle tesi di Lovelock, poi si realizzò una vera e propria collaborazione che sfociò in un contributo pubblicato su *Tellus* nel 1974, con un titolo-sfida: "Omeostasi atmosferica a causa di e per la biosfera: l'ipotesi di Gaia". In questo articolo Lovelock e Margulis ridefinivano l'ipotesi di Gaia in questi termini: "Noi stiamo chiamando [con il nome] di ipotesi di Gaia la nozione della biosfera come un sistema di controllo adattivo, in grado di mantenere la Terra in omeostasi". Il linguaggio adottato dai due scienziati indica la distanza che esisteva, ed esiste tuttora, fra le loro posizioni teoriche, in quanto un "sistema di controllo adattivo" non è di per sé un sinonimo di "essere vivente". Tuttavia, come vedremo tra poco, un forte appoggio ad un atteggiamento etico nei confronti della nostra Terra viene fornito anche dalla convinzione apparentemente 'minore' di Margulis, che Gaia sia un unico complesso ecosistema, e non un essere vivente.

## 2.2 Geofisiologia!

Lovelock scrisse nel 1989 con il titolo "Geofisiologia, la scienza di Gaia" un articolo che fu pubblicato sulle *Reviews of Geophysics*. Il termine 'geofisiologia' è quindi entrato ufficialmente nel lessico scientifico, portando con sé uno straordinario patrimonio semantico ed emotivo. In un'opera molto interessante [12] Tyler Volk, un biologo dell'Università di New York, ha illustrato molti aspetti della fisiologia del nostro pianeta; ne riprendiamo un paio tra i più significativi.

I cicli globali di due elementi fondamentali per la vita, il fosforo e il calcio sono gestiti dai diversi 'serbatoi' di Gaia che partecipano ai processi di riciclo: piante, suolo, rocce, fiumi; il 'serbatoio finale' è costituito dagli oceani. I 'serbatoi' sono i medesimi per i due cicli, ma i calcoli mettono in evidenza una enorme differenza quantitativa e qualitativa. Annualmente i fiumi convogliano verso l'oceano 720 milio-

ni di tonnellate di calcio e solo 11 milioni di tonnellate di fosforo. Il ciclo vegetativo coinvolge 620 milioni di tonnellate di calcio e 230 milioni di tonnellate di fosforo, ed è proprio rispetto a questo ciclo che si rivela la capacità essenziale della vita di creare le condizioni favorevoli al proprio sviluppo. Il calcio, abbondantemente rifornito dalle rocce, viene rilasciato in grande quantità dal sistema vivente (350 milioni di tonnellate); il fosforo, molto più raro, viene perso dal sistema vegetale per il parsimonioso valore di 5 milioni di tonnellate. Volk sottolinea l'essenziale differenza fra i due casi con un 'tasso di riciclo', il rapporto fra la quantità dell'elemento coinvolta nel ciclo vegetativo annuale e la quantità che va 'perduta' nei fiumi. Nel caso del calcio di ha un valore di 1,1; praticamente quasi tutto il calcio necessario alle piante viene rinnovato annualmente, attraverso l'introduzione nel ciclo vitale di calcio tratto dai minerali del suolo. Del tutto diversa è la situazione del fosforo, elemento molto meno accessibile dalle piante, il cui rapporto di riciclo è 46: un atomo di fosforo partecipa mediamente a 46 cicli vegetativi prima di iniziare a scorrere nei fiumi verso l'oceano. Come sottolinea Volk: "il sistema costituito dalla comunità biotica e dalla matrice del suolo amplifica la disponibilità del fosforo, e di conseguenza la fotosintesi, di 46 volte".[13]

Il secondo esempio del complesso metabolismo di Gaia riguarda la funzione del dimetilsolfuro (DMS) nell'equilibrio termico del pianeta. Il DMS è un prodotto di rifiuto di diverse specie di fitoplancton. Una volta emesso il DMS raggiunge l'atmosfera, dove è rapidamente ossidato a solfato; si forma così un aerosol che addensa l'umidità dell'aria sotto forma di nuvole. Queste nuvole, ricche dell'aerosol generato dal DMS, sono particolarmente riflettenti ed impediscono ai raggi solari di raggiungere la superficie dell'oceano. In definitiva le specie di fitoplancton che producono DMS hanno una significativa funzione di raffreddamento del pianeta.

Per quanto riguarda l'effetto sul clima si deve ricordare che ogni variazione globale di temperatura ha un effetto assai complesso. Un aumento di temperatura agisce sull'attività dei batteri del suolo, aumentando la loro capacità di favorire l'erosione dei minerali e la produzione di ioni calcio; l'aumento di ioni calcio che giungono al mare aumenta anche la quantità di CO<sub>2</sub> 'sequestrata' e precipitata nei fondali sotto forma di carbonato di calcio. Dalla diminuzione della CO<sub>2</sub> atmosferica risultano effetti diversi. Innanzi tutto vi è un effetto antagonista all'aumento di temperatura perché diminuisce la presenza nell'atmosfera di un gas responsabile dell'effetto serra, ma la diminuzione di CO<sub>2</sub> rallenta anche l'attività vegetativa nel suo complesso ... Lasciando la parola a Volk:

*"Abbiamo così un sistema dove il DMS altera le nubi, che alterano la temperatura, che altera l'erosione, che altera la concentrazione atmosferica di anidride carbonica, che altera la vegetazione, che ri-altera l'erosione ...".*[14]

Che tutti questi fattori siano interconnessi è chiaro, quale sia il loro rapporto quantitativo e l'esito finale sulla temperatura del pianeta è oggetto di ricerca. Un valore attualmente accettabile per quanto riguarda l'abbassamento della temperatura media del pianeta dovuta all'attività del DMS è di 5,6 °C. È un valore allarmante, se si pensa che la temperatura media è attualmente di circa 15 °C, e che l'aumento di un solo grado porterebbe a variazioni climatiche e geofisiche imponenti (si pensi solo all'aumento del livello degli oceani).

L'indagine sulla fisiologia di Gaia mette in luce alcuni fatti di grande rilievo: (1) alla scala grandiosa dei fenomeni con-

tribuiscono in modo fondamentale esseri viventi fra i più minuti della scala biologica, per cui ogni minaccia al loro habitat potrebbe sconvolgere l'equilibrio del pianeta; (2) esiste un'intima e generale connessione funzionale fra le varie parti di Gaia, comunque esse siano scelte ed enumerate. La complessità degli ecosistemi è resa evidente dalla pluralità irriducibile dei modelli adottati per descrivere la loro omeostasi.<sup>11</sup>

### 2.3 L'etica non contrattuale

Malgrado la notevole mole di ricerca svolta negli ultimi decenni le conoscenze sul 'sistema Terra' presentano ancora grandi margini di incertezza. All'incertezza scientifica, quasi sempre negata dai vari Governi nazionali, si aggiunge un'altra grave incertezza di natura del tutto diversa.

La rilevanza conoscitiva del 'contratto sociale' come origine del comportamento etico non va oltre quella di una favola soporifera, ma si capisce subito la portata politica di questa teoria quando si pensa a chi in generale si applicano termini come *dovere, diritto, legge, moralità, obbligazione, giustizia*. Lo schema di riferimento è appunto quello del contratto *pattuito fra e compreso da* agenti liberi e razionali; in questo schema ideologico la razionalità non ammette gradi intermedi, "noi possiamo avere doveri [certi] solo nei confronti di umani, e umani sani di mente, adulti e responsabili".<sup>[15]</sup> Si comprende meglio quanto le parole di Mary Midgley rappresentino la realtà della *nostra* società, se prendiamo in considerazione alcuni dei possibili referenti di obblighi etici non contrattuali, elencati e discussi dalla filosofa inglese.<sup>12</sup> I primi otto casi rinviano ad esseri umani, già vissuti (i morti); che vivranno (i posteri); non autonomi per vari motivi (bambini e vecchi; deboli di mente temporanei o permanenti, poi giù a discendere fino ai 'vegetali umani'); in via di formazione (embrioni). A vario titolo ogni componente dell'elenco è un *incapace*, e il suo potere contrattuale è nullo. Non mi soffermo sul dolore immane che nasce da questa violentata incapacità.<sup>13</sup> Seguono fino alla undicesima categoria i riferimenti ad animali e piante, che ancora non commento; giungiamo quindi al caso n. 12, i manufatti (comprese le opere d'arte) e al caso n. 13, gli oggetti inanimati (per esempio: cristalli, fiumi, rocce). I due ultimi casi sono interessanti perché ci rinviano alla questione del *valore*. Se nel caso 12 ci riferiamo a certi manufatti, e cioè le opere d'arte riconosciute dal mercato, e nel caso 13 a certi cristalli, ad esempio diamanti e smeraldi, il loro valore è innanzi tutto numerario, *in denaro*, per poi essere anche estetico, culturale, affettivo, nazionale.<sup>14</sup> In un certo modo, distorto e deformante, il valore economico attribuito ad un ente qualsiasi sancisce il livello di attenzione 'etica' ad esso rivolto, per conservarlo o tutelarlo. Il caso n. 14 solleva problemi diversi. L'Autrice usa il termine *unchosen groups*, che si può tradurre nella nostra lingua (più drammatica) come *grup-*

*pi senza possibilità di scelta*. In effetti nessuno può scegliere di essere figlio di questa o quella madre, né può assegnarsi ad un'altra specie, e diventare ad esempio un *Pan troglodytes* - anche se gli scimpanzè condividono con noi umani il 98-99 % del DNA. Con buona pace del libero arbitrio, *non abbiamo nessuna possibilità di sciogliere i legami etici più forti*, che non a caso da sempre sono detti *di sangue*. Al limite estremo possiamo soltanto rinnegare questi legami, come fa un matricida, che uccide chi l'ha messo al mondo, o un asceta indiano, che sceglie di comportarsi in tutto e per tutto come un cane, ma di solito accettiamo i legami di sangue, più o meno allentati. Al caso n. 15, infine, troviamo un elenco apparentemente eterogeneo: ecosistemi, paesaggi, villaggi, tane intercomunicanti, formicai, città. Si tratta in realtà di unità autopoietiche,<sup>15</sup> alcune delle quali sono o dovrebbero essere protette per legge.

### 2.4 La protezione legale degli ecosistemi

Nella sezione precedente abbiamo visto come ci si senta spesso legati da vincoli etici anche con l'incapace, l'immobile, il silenzioso, con esseri indifesi e con entità inanimate che non sono in grado di stringere con noi patti di nessun tipo. La trattazione dell'etica non contrattuale fatta da Mary Midgley è assai convincente, e un minimo ampliamento dell'analisi delle sue conseguenze porterebbe ad una conclusione importante, che già comunque si intravede: gli obblighi etici non obbediscono a regole, leggi o comandamenti generali, validi per l'intera umanità. Essi dipendono penosamente dall'*ethos* locale,<sup>16</sup> e quindi ben vengano i tentativi di accordi internazionali che per via legislativa tentano, almeno tentano, di introdurre dei principi di comportamento comuni all'intera società umana.

Almeno quattro proprietà ci inducono ad assegnare un *valore* agli ecosistemi: (a) esibiscono una ampia diversità di parti (sono visibilmente 'complicati', come un grande orologio da torre); (b) dimostrano una integrazione funzionale delle parti ('funzionano' bene, come quel grande orologio); (c) sono sistemi auto-regolati (come tutti gli esseri viventi); (d) esprimono armonia (complessità e funzionalità sono ben integrate, forse nascoste). L'elenco delle proprietà che abbiamo richiamato è ambivalente, nel senso che possono essere attribuite sia ad artefatti sia alle entità definite - secondo la dizione comune - come 'naturali',<sup>17</sup> ma all'interno dell'etica non contrattuale questi valori possono confluire nel *valore etico* del rispetto di un ecosistema. In questa prospettiva gli ecosistemi rientrano negli enti verso cui abbiamo degli obblighi, e questi obblighi diventano ancora più vincolanti quando si considerano gli ecosistemi come entità viventi, secondo la Convenzione sulla diversità biologica del 1992.

Nell'Articolo 2 della Convenzione<sup>18</sup> vengono date le definizioni pubbliche, ufficiali, internazionali dei termini più rile-

<sup>11</sup>Mi riferisco in particolare ad una definizione di complessità derivata dalla biologia teorica: un sistema è complesso quando non è possibile descrivere le sue proprietà e il suo comportamento con un unico modello formale, e i modelli in questione non sono derivabili l'uno dall'altro.

<sup>12</sup>Midgley elenca 19 diverse categorie di questi referenti; si veda anche [16]

<sup>13</sup>Premono però le immagini dei bambini soldato, delle bambine chiuse nei bordelli, dei piccoli piegati al lavoro coatto.

<sup>14</sup>Affinché questo aggettivo non sembri esagerato rinvio ai 'gioielli della Corona' esposti nella Torre di Londra. Su un piano più modesto si può segnalare l'attuale (2004) Governo italiano che intende alienare molti 'manufatti' di proprietà pubblica.

<sup>15</sup>Su autopoiesi e complessità si veda la prima nota di questa serie [17]

<sup>16</sup>Si pensi ad esempio all'infanticidio di massa che colpisce le neonate in Cina, alla diffusa accettazione della pena di morte, alle proposte di politici statunitensi di legalizzare la tortura.

<sup>17</sup>A scopo preventivo, per evitare fondamentalismi pseudo-ecologici, si deve qui ricordare che gli umani hanno un ruolo naturale e legittimo all'interno della natura, e che da questo punto di vista una raffineria non è meno 'naturale' di un termitaio.

<sup>18</sup>La Convenzione sulla diversità biologica fu presentata a Rio de Janeiro il 5 giugno 1992; essa è entrata nell'ordinamento giuridico italiano con la legge 14 febbraio 1994, n. 124. Il testo della Convenzione qui citato è tratto da [18]

vanti usati nel testo. Qui leggiamo:

*“Per «diversità biologica» si intende la variabilità tra gli organismi viventi di ogni origine, compresi tra gli altri, gli ecosistemi terrestri, marini e gli altri ecosistemi acquatici, ed i complessi ecologici di cui fanno parte; ciò include la diversità nell’ambito di ciascuna specie, e tra le specie degli ecosistemi”.*

L’avallo alla concezione degli ecosistemi come “organismi viventi” è veramente potente, per almeno tre motivi: trattandosi di un importante trattato internazionale ogni parola è stata soppesata, nei testi originali e nelle traduzioni;<sup>19</sup> essendo la Convenzione sulla diversità biologica un documento basato su analisi scientifiche, il suo contenuto è anche un contributo conoscitivo; infine il documento esprime la volontà comune delle nazioni, e detta le condizioni per una ‘buona condotta’ in campo ambientale. Nel complesso la Convenzione rappresenta una autorevole ‘proposta etica’, del tutto pertinente alla nostra ricerca sulla complessità. Leggiamo la definizione ‘legale’ di ecosistema:

*“Per «ecosistema» si intende un complesso dinamico formato da comunità vegetali, animali e micro-organismi e dal loro ambiente non vivente, che interagiscono come unità funzionale”.*

L’espressione ‘unità funzionale’ ha qui lo stesso significato della ‘unità autopoietica’ di Maturana e Varela. Avviandomi alle conclusioni voglio sottolineare che dalla attribuzione della vita agli ecosistemi deriva una conseguenza epistemologica di grande rilievo: la riproduzione scompare dalle caratteristiche ritenute necessarie per qualsiasi essere vivente.

#### 4. Conclusioni: Gaia e la scienza per i cittadini

L’insegnamento profondo delle relazioni di reciprocità dimostrate da Onsager è che interagiscono fra di loro i più diversi processi fisici, compreso l’onnipresente ‘flusso di calore’. Per quanto riguarda un ecosistema, non siamo ancora in grado di descriverlo come “complesso dinamico” utilizzando le relazioni limpide e simmetriche di Onsager, ma ciò che nel presente ambito di ricerca mi attira di più è la possibilità di connettere termodinamica, chimica, vita e ambiente nella nostra didattica.

Con le dovute semplificazioni o con opportuni approfondimenti – a seconda della situazione didattica – elementi significativi della teoria di Gaia possono essere (ri)costruiti con gli allievi a partire da conoscenze fondamentali di termodinamica (sistema aperto, equilibrio stazionario, produzione di entropia), di chimica (cicli degli elementi, e molti, molti altri spunti), di biologia ed ecologia (autopoiesi). Importa poco che agli allievi non si possa parlare in modo rigoroso di tutte le tematiche disciplinari coinvolte. È essenziale poter giungere ad una prima comprensione, preliminare, che invogli gli allievi a ‘capirne di più’, ad affrontare seriamente gli studi scientifici, la cui severità è temperata da un continuo senso di meraviglia per la complessità del mondo e di gioia per ‘vedere’ ciò che prima era oscuro.

Nella scuola secondaria non vi è docente di materie scientifiche che non possa essere coinvolto in una offerta didattica imperniata su Gaia. Se si accettasse – come credo opportuno – il valore etico della vita degli ecosistemi allora tutto il

corpo insegnante potrebbe portare le sue competenze in un progetto comune, e il progetto verrebbe a formare un nucleo significativo di quella scienza per il cittadino che tutti auspichiamo.

#### Bibliografia

- [1] G. Villani, *La Chiave del Mondo. Dalla filosofia alla scienza: l’onnipotenza delle molecole*, Napoli: CUEN, 2001, p. 272.
- [2] A. Hodges, *Storia di un enigma. Vita di Alan turing, 1912-1954*, Torino: Bollati Boringhieri, 1991.
- [3] I. Vavruch, “Conceptual Problems of Modern Irreversible Thermodynamics”, *Chem. Listy*, **96**, pp. 271-275 (2002).
- [4] L. Cerruti, *Bella e potente. la chimica del Novecento fra scienza e società*, Roma: Editori Riuniti, 2003, pp. 459-462.
- [5] A. J. Lotka, *Elements of Physical Biology*, Baltimore: Williams- Wilkins, 1925.
- [6] F. Soddy, *Cartesian Economics*, London, Hendersons, 1922.
- [7] F. Soddy, *Wealth, Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox*, London, George Allen & Unwin, 1926.
- [8] “Eugene Odum”, <http://www.georgiaencyclopedia.org/nge/Article.jsp?id=h-720>.
- [9] T. Chaffin, “Whole-earth mentor: a conversation with Eugene P. Odum”, 1998, [http://www.findarticles.com/cf\\_dls/m1134/n8\\_v107/21191216/p1/article.jhtml](http://www.findarticles.com/cf_dls/m1134/n8_v107/21191216/p1/article.jhtml).
- [10] J. E Lovelock., *Gaia. A New Look at Life on Earth*, Oxford, Oxford UP, 2000.
- [11] L. Margulis, “Gaia Is a Tough Bitch”, <http://www.edge.org/documents/ThirdCulture/n-Ch.7.html>.
- [12] T. Volk, *Il corpo di Gaia. Fisiologia del pianeta vivente*, Torino: UTET, 2001; la traduzione molto curata di tre Colleghi di Torino rende il libro molto leggibile.
- [13] *Ib.*, p. 195.
- [14] *Ib.*, p. 231.
- [15] M. Midgley, “Duties concerning islands”, in R. Elliot (ed.), *Environmental Ethics*, Oxford: Oxford UP, 1995, pp. 89-103; p. 90.
- [16] L.Cerruti, “Etica dell’ambiente. Una ricerca sulla violabilità della natura”, *Atti della III Conferenza Nazionale sull’Insegnamento della Chimica*, 2004, pp. 88-111.
- [17] L. Cerruti, “La chimica e le ricerche sulla complessità. Sistemi complessi e unità autopoietiche”, *La Chimica nella Scuola*, **26**, pp. 37-44 (2004).
- [18] A. Postiglione, A. Pavan (a cura di), *Etica ambiente sviluppo. La comunità internazionale per una nuova etica dell’ambiente*, Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane, 2001, pp. 259-289.

118 <sup>19</sup> Ho controllato il testo della Convenzione in inglese, francese, tedesco e spagnolo per garantirmi che la traduzione italiana non fosse un abbaglio. Esistono inevitabili differenze sintattiche e semantiche, ma queste non riguardano l’accettazione degli ecosistemi come entità viventi.

# L'ACQUA : PROPRIETÀ E STRUTTURA - I parte

FABIO MOMICCHIOLI (\*)  
PAOLO MIRONE (\*)

## Riassunto

Rispetto alle altre sostanze inorganiche con le stesse dimensioni molecolari, l'acqua possiede una serie notevole di proprietà fisiche "anomale" che hanno svolto un ruolo primario nella formazione di un ambiente naturale adatto allo sviluppo della vita e al suo mantenimento. Questo legame indissolubile con la vita ha creato attorno all'acqua un alone di "mistero" che gli scienziati (fisici, chimici, biologi) hanno cercato puntigliosamente di sciogliere ricorrendo alle più avanzate tecniche di indagine di volta in volta disponibili. Questo articolo si propone di fornire un quadro delle conoscenze attuali attraverso una sintesi di alcuni dei principali studi sulle proprietà dell'acqua pubblicati negli ultimi quarant'anni. La prima parte (par. 2) contiene una rassegna delle proprietà fisiche dell'acqua che hanno maggiore influenza sull'ambiente terrestre. I paragrafi successivi (3-6) descrivono le tappe dell'approccio molecolare all'interpretazione delle proprietà dell'acqua negli stati solido e liquido. Il percorso inizia con la descrizione delle proprietà strutturali, elettriche e dinamiche della molecola d'acqua isolata (par. 3), prosegue con l'analisi delle forze intermolecolari che determinano la formazione di un legame a idrogeno lineare nel dimero dell'acqua (par. 4) e si conclude con l'interpretazione delle proprietà del ghiaccio ordinario (ghiaccio I, par. 5) e dello stato liquido (par. 6) sulla base del legame a idrogeno come fattore di struttura. Secondo il modello oggi più accettato, l'ordine locale dell'acqua liquida è spiegabile con una rete incompleta di legami a idrogeno variamente distorti, mentre la struttura cristallina esagonale del ghiaccio I è dovuta all'esistenza di una rete quasi completa di legami a idrogeno "lineari". Per ragioni di equilibrio fra le diverse sezioni della rivista il presente articolo viene pubblicato in due parti; nella prima, che esce in questo numero, sono illustrate le proprietà macroscopiche dell'acqua negli stati liquido e solido, mentre nella seconda, che comparirà nel prossimo numero, saranno descritte le strutture della molecola dell'acqua, del suo dimero, del ghiaccio e dell'acqua liquida.

## Abstract

In comparison with all inorganic substances having similar molecular sizes, water exhibits a remarkable set of "anomalous" physical properties that have played a primary role in the formation of a natural environment suitable for the development and maintenance of life. Because of such a tight link with life, water has always been wrapped in a halo of "mystery" that scientists (physicists, chemists, biologists) have obstinately tried to solve resorting to the most advanced investigation techniques available

each time. This article aims at providing an outline of the present knowledge of the subject through a synthesis of a few of the main studies on the properties of water published during the last forty years. The first part (sect. 2) reports a survey of the physical properties of water which are most important for the terrestrial environment. The successive sections (3-6) describe the stages of the molecular approach to the understanding of water properties in the solid and liquid states. The route starts from the description of the structural, electric and dynamic properties of the isolated water molecule (sect. 3), goes on analysing the intermolecular forces that bring about the formation of a linear hydrogen bond in the water dimer (sect. 4) and ends up with the interpretation of the properties of ordinary ice (ice I, sect. 5) and of liquid water (sect. 6) on the basis of the hydrogen bonding as the structure determining factor. According to the model accepted today, the local order in liquid water is traceable to a defective network of hydrogen bonds distorted to varying degrees, whereas the hexagonal lattice structure of ice I is due to the existence of an almost complete network of "linear" hydrogen bonds.

## IMPORTANZA DELL'ACQUA

Il biochimico Albert Szent-Giörgyi, premio Nobel 1937 per la medicina, ha chiamato l'acqua "la matrice della vita", una felice definizione che identifica l'acqua come la sostanza chimica più importante e indispensabile fra tutte quelle presenti sulla terra. L'acqua era già abbondante su questo pianeta prima della comparsa della vita ed ha contribuito più di ogni altra sostanza a modellare il nostro ambiente biologico. È un costituente essenziale delle cellule animali e vegetali ed esercita una vitale influenza sulle proprietà strutturali e funzionali dei biopolimeri (acidi nucleici e proteine). A parte il suo coinvolgimento nei processi biologici, l'acqua ha un ruolo di primo piano anche in chimica, fisica, meteorologia, geologia ed è risorsa fondamentale per gran parte delle attività umane (agricoltura, industria, ...) per cui la sua distribuzione ha evidenti riflessi economici, sociali e politici.

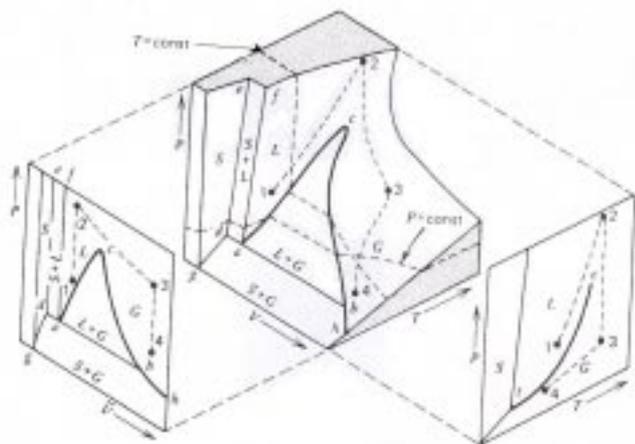
Tutto ciò spiega e giustifica pienamente il grande impegno profuso dalla ricerca fondamentale nella formulazione di attendibili teorie quantitative per la descrizione dell'acqua come sostanza pura. Negli ultimi decenni queste ricerche hanno registrato notevoli progressi grazie all'affinamento delle tecniche sperimentali ma soprattutto all'avvento di potenti calcolatori elettronici che ha consentito decisivi sviluppi nella elaborazione numerica degli aspetti quantomeccanici e meccanico-statistici del problema.

## 2 PROPRIETÀ FISICHE DELL'ACQUA

Lo sviluppo di una completa descrizione teorica dell'acqua passa attraverso due fasi di studio che sono caratteristiche dall'approccio chimico-fisico. La prima consiste nella determinazione delle variabili macroscopiche che caratterizzano le differenti fasi termodinamicamente stabili dell'acqua. La seconda fase, consistente nell'approccio cosiddetto microscopico o molecolare, ha il compito di mettere in rela-

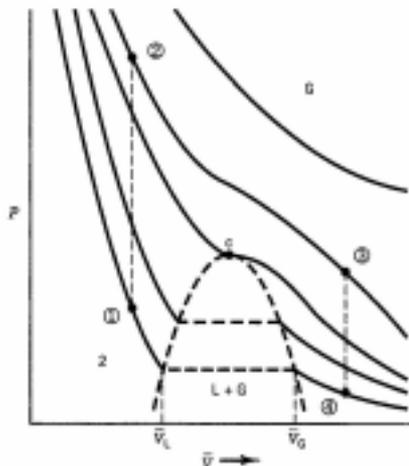
(\*) Dipartimento di Chimica, Università di Modena e Reggio Emilia

zione le osservabili macroscopiche con la struttura delle molecole e le interazioni intermolecolari. Dall'insieme delle indagini a livello macroscopico emerge che l'acqua possiede una sorprendente serie di proprietà fisiche che ne definiscono il carattere eccezionale. In questo paragrafo vengono elencate e brevemente discusse alcune delle più importanti proprietà. Gran parte di queste proprietà sono deducibili dall'analisi del diagramma di fase  $P-V-T$  che è caratteristico di ogni specifica sostanza. La Figura 1 mostra una tipica superficie per una mole di sostanza pura e le proiezioni di questa superficie sui piani  $P-\bar{v}$  e  $P-T$



**Figura 1-** Superficie  $P-\bar{v}-T$  per un componente che subisce contrazione nel congelamento (riprodotta da rif.[1]).

Vi sono tre regioni bifasiche [S+G (solido+gas), L+G, S+L] sulla superficie che si intersecano nel punto triplo,  $t$ , dove vapore, liquido e solido sono in equilibrio. Nella proiezione  $P-T$ , che costituisce la più familiare rappresentazione del diagramma di fase, le linee definiscono le condizioni nelle quali due fasi possono coesistere in equilibrio. La linea solido-gas va dal punto triplo allo zero assoluto, mentre la linea liquido-gas va dal punto triplo al punto critico ( ) oltre il quale ( $T > T_c$  e/o ) liquido e gas non sono più distinguibili come fasi separate. Per l'acqua le coordinate del punto critico sono:  $P_c = 217.6 \text{ atm}$ ,  $\bar{v}_c = 0.056 \text{ l/mol}$ ,  $T_c = 647.3 \text{ K}$ . I fenomeni critici possono essere discussi più efficacemente usando la proiezione  $P-\bar{v}$  della superficie  $P-\bar{v}-T$  in cui siano evidenziate le isoterme che rappresentano le intersezioni della superficie con piani  $P-\bar{v}$  a differenti temperature (Fig.2).



**120** **Figura 2-** Isoterme  $P-\bar{v}$  di una sostanza pura nella regione del punto critico. Il cammino 1-2-3-4 mostra come il liquido può essere convertito in gas senza la comparsa di una interfaccia fra le due fasi (da rif. [1]).

Il massimo della curva che delimita la regione bifasica L+G è il punto critico dove  $\bar{v}_L$  e  $\bar{v}_G$  e quindi le densità delle fasi liquida e gassosa, diventano uguali. Il punto critico è un punto di flesso dell'isoterma con  $T = T_c$  definito da

La prima di queste condizioni comporta che la comprimibilità isoterma  $k = \bar{v}^{-1}(\partial \bar{v} / \partial P)_T$  diventa infinita al punto critico. In pratica il fluido risulta infinitamente comprimibile solo in un intervallo infinitesimo di pressione. A  $T > T_c$  il sistema ad un componente prende il nome di *fluido supercritico*. I fluidi supercritici, grazie alle loro eccezionali proprietà solventi, sono molto usati nell'industria estrattiva (estrazione della caffeina dal caffè, estrazione della nicotina dal tabacco, estrazione di composti farmacologicamente attivi da sostanze naturali, ecc.). Alle basse pressioni e alte temperature le isoterme tendono ad andamenti perfettamente iperbolici, specialmente se  $T > T_c$ , in accordo con la legge dei gas perfetti

$$(1)$$

ma la descrizione delle altre regioni rappresentative del gas denso e del liquido richiede equazioni di stato molto più complesse. La più nota, e meno complicata, di queste equazioni è l'equazione di van der Waals

$$P = \frac{RT}{\bar{v} - b} - \frac{a}{\bar{v}^2} \quad (2)$$

dove  $a$  e  $b$  sono parametri specifici del sistema che sono stati messi in relazione, rispettivamente, con le forze intermolecolari e con il volume proprio delle molecole (considerate come sfere rigide). Comunque, l'equazione di stato che ha maggiore fondamento teorico è la cosiddetta equazione del viriale che è data in forma di sviluppo di  $P$  in serie di potenze di  $\bar{v}^{-1}$ , cioè

$$P = \frac{RT}{\bar{v}} \left[ 1 + \frac{B}{\bar{v}} + \frac{C}{\bar{v}^2} + \dots \right] \quad (3)$$

dove  $B, C, \dots$  sono chiamati secondo, terzo, ... coefficiente del viriale e dipendono da  $T$  e dallo specifico sistema. Comunque neppure l'equazione del viriale, che è concepita come uno sviluppo in serie attorno allo stato di gas ideale, può descrivere bene la superficie  $P-\bar{v}-T$  nelle regioni delle fasi condensate.

Per concludere questa breve parentesi sui diagrammi  $P-\bar{v}-T$  è importante ricordare che le transizioni di fase S-G, S-L, L-G sono accompagnate da discontinuità in molte proprietà (quali per esempio il volume, l'energia interna, l'entalpia, l'entropia) associate ad un cambiamento di pendenza del potenziale chimico. Cambiamenti di fase con queste caratteristiche termodinamiche sono chiamati transizioni di fase del primo ordine.

Sulla base di quanto fin qui detto passiamo ora ad analizzare le speciali proprietà del sistema acqua.

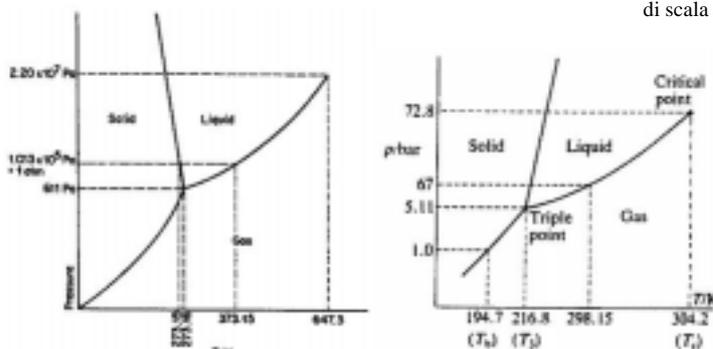
**1.** L'acqua è l'unico liquido inorganico che si trova allo stato naturale sulla terra. Il carattere eccezionale di questa proprietà emerge chiaramente dal confronto con gli idruri degli elementi confinanti con l'ossigeno nella tavola periodica, per i quali ci si potrebbero aspettare proprietà analoghe. Al contrario  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$  e  $\text{H}_2\text{S}$  sono tutti gas a temperatura ambiente. Inoltre l'acqua è il solo composto chimico che si trova sulla terra in tutti e tre gli stati fisici: solido, liquido, vapore. La Tabella 1 consente un dettagliato confronto fra acqua, ammoniaca, acido fluoridrico e acido solfidrico per ciò che riguarda la temperatura di fusione ed ebollizione alla pressione atmosferica e la permittività relativa che sarà discussa in un punto successivo.

**Tabella 1.** Proprietà dell'acqua e liquidi affini (dati da rif. [2]).

	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{HF}$	$\text{H}_2\text{S}$
p.f./K	195	273	184	187
p.eb./K	240	373	293	212
liq.range/K	44	100	109	25
$\epsilon_r$	25(195 K)	79(298 K)	84(273 K)	9(187K)

Un rapido esame della tabella illustra la posizione anomala dell'acqua: alta temperatura di fusione (273 K) e largo intervallo di temperatura della fase liquida (100 K). Anche l'HF liquido ha un elevatissimo "range" di temperatura (109 K) che è tuttavia fissato a valori di T molto più bassi.

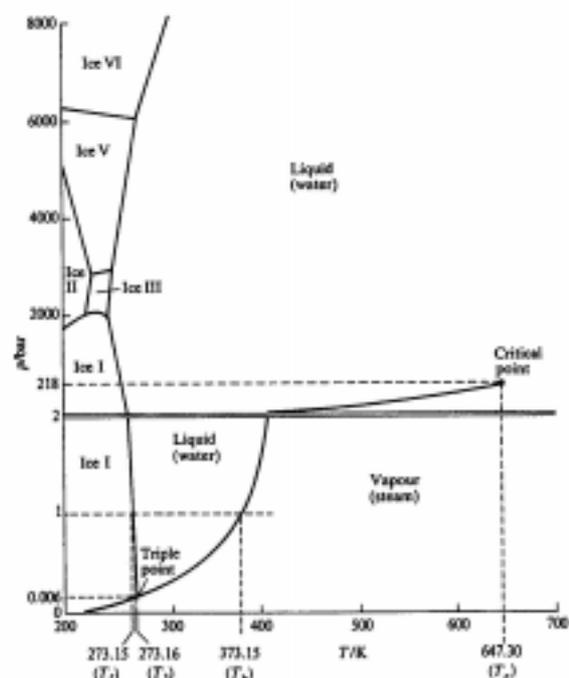
**2.** La fusione del ghiaccio è accompagnata da contrazione. Alla pressione di un atmosfera il volume molare diminuisce da  $19.66 \text{ cm}^3$  per il ghiaccio a  $18.0182 \text{ cm}^3$  per l'acqua liquida alla stessa temperatura, con una perdita dell'8.3%. Questa proprietà è molto rara fra tutte le sostanze chimiche e, considerando gli elementi puri, è condivisa solo dal germanio e dal bismuto. La contrazione di volume nella fusione fa sì che la temperatura di fusione diminuisca all'aumentare della pressione e ciò si manifesta nel diagramma  $P, T$  attraverso una pendenza negativa della linea di confine fra solido e liquido che contrasta con la pendenza positiva osservata per le altre sostanze. Nella Figura 3 il comportamento anomalo dell'acqua è confrontato con quello della  $\text{CO}_2$  scelta come esempio di comportamento "ortodosso".



**Figura 5** - Diagrammi di fase  $P-T$  sperimentali per la l'acqua (a sinistra; da rif. [2]) e la  $\text{CO}_2$  (a destra; da rif. [3]). (n.b. 1 bar = 0.987 atm).

**3.** La densità raggiunge il suo valore massimo nella fase liquida. Dopo la fusione, il riscaldamento del liquido porta a un ulteriore aumento della densità fino alla temperatura di  $3.98 \text{ }^\circ\text{C}$ , con un corrispondente cambiamento dello 0.013% del volume molare. Nessun altro liquido conosciuto mostra analogo massimo della densità al di sopra del suo punto di fusione normale. Aumentando la pressione, la temperatura del

massimo di densità diminuisce e raggiunge  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $\sim 190 \text{ atm}$ . **4.** Nello stato solido cristallino sono state identificate numerose fasi. L'usuale termine "ghiaccio" si riferisce alla fase solida che si forma per congelamento dell'acqua alla pressione atmosferica. Nel quadro più generale dell'acqua allo stato solido questa forma prende il nome di ghiaccio-I o ghiaccio-Ih per specificare la struttura esagonale. La Fig.4 mostra che alle alte pressioni compaiono differenti fasi solide chiamate ghiaccio-II, III, V, VI ed altre ancora, ghiaccio-VII, VIII, IX, non riportate nel diagramma. A differenza delle forme III, V, VI e VII, le fasi II, VIII e IX non possono essere ottenute direttamente dall'acqua liquida. Alle alte pressioni l'acqua può essere solidificata a temperature molto maggiori di  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Per esempio la forma VII, che esiste solo a pressioni  $> 25 \cdot 10^3 \text{ atm}$ ., si forma dal liquido a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figura 4** - Proiezione  $P-T$  del diagramma di fase dell'acqua comprendente la regione delle alte pressioni (da rif. [3]). Notare il cambiamento di scala a 2 atm.

L'esistenza di numerose strutture cristalline suggerisce che le interazioni fra molecole d'acqua devono essere alquanto complesse. Infatti, pur rinviando ogni considerazione teorica ai paragrafi successivi, si può affermare che la molteplicità delle strutture cristalline è incompatibile con l'idea che l'acqua sia formata da molecole sferiche interagenti mediante potenziali dipendenti solo dalla distanza.

**5.** L'acqua liquida ha una capacità termica molto alta ( $75.3 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ) che si riduce a metà del suo valore passando alla fase solida ( $37.6 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ) o a quella vapore ( $33.6 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ). Questa anomalia gioca un ruolo fondamentale nel mantenimento delle condizioni di vita sul nostro pianeta. Infatti, grazie a questa proprietà gli oceani sono in grado di immagazzinare un'enorme quantità di energia che, distribuita attraverso le correnti, garantisce climi tem-

perati su gran parte della superficie terrestre. Ad esempio la corrente del Golfo scorre su un fronte di 150 Km dal Golfo del Messico all'oceano artico con un flusso di ~100 Km<sup>3</sup> di acqua all'ora. Considerando che la caduta globale di temperatura dell'acqua è di 20 °C, la corrente cede all'ambiente ~10<sup>16</sup> KJ all'ora. Per apprezzare l'entità di questo scambio termico basta pensare che tutto il carbone estratto in un anno nel mondo potrebbe fornire energia a questa velocità solo per 12 ore.

6. L'acqua è uno dei liquidi con più elevata costante dielettrica. Questa proprietà è alla base della capacità dell'acqua di sciogliere solidi ionici. È ben noto che nel vuoto l'energia di interazione fra due cariche elettriche  $q_1$  e  $q_2$  poste alla distanza  $R$  è data dalla legge di Coulomb

$$E = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (4)$$

dove  $\epsilon_0$  è la permittività del vuoto che vale  $8.854 \cdot 10^{-12}$  C<sup>2</sup>J<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>. Se le cariche non sono nel vuoto, l'energia elettrostatica è modificata dal mezzo. Se la distanza  $R$  è grande rispetto alle dimensioni delle molecole del mezzo, questo può essere trattato come un continuo le cui proprietà elettriche sono caratterizzate da un parametro  $\epsilon_r$  chiamato costante dielettrica (o permittività relativa) che può essere determinata confrontando la capacità di un condensatore piano in assenza ( $C_0$ ) e in presenza ( $C$ ) del dielettrico fra le armature. Allora si può scrivere

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{C}{C_0} \quad (5)$$

La Tabella 2 mostra le costanti dielettriche di alcuni liquidi comuni (vedi anche l'ultima riga di Tab.1) e mette in evidenza che la polarità delle molecole è condizione necessaria per la comparsa di un elevato valore di  $\epsilon_r$ . In termini di costante dielettrica del mezzo l'energia di interazione di due cariche è data da

$$E = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r R} \quad (6)$$

Considerando che per tutti i liquidi  $\epsilon_r > 1$ , l'effetto del mezzo sarà quello di indebolire l'interazione fra le cariche elettriche rispetto al vuoto. Ad esempio, l'acqua ( $\epsilon_r=79$  a 25°C) riduce l'energia delle interazioni interioniche di quasi due ordini di grandezza rispetto al loro valore nel vuoto.

Comunque per quanto riguarda il ruolo della costante dielettrica è necessario fare due osservazioni. Prima di tutto

**Tabella 2.** Costanti dielettriche,  $\epsilon_r$ , di alcuni liquidi e momenti di dipolo,  $\mu$ , delle loro molecole allo stato gassoso (dati da rif. [2]).

	T/K	$\epsilon_r$	$\mu$ /Debye
CCl <sub>4</sub>	298	2.23	0
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	298	2.27	0
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	298	34.8	4.22
CH <sub>3</sub> OH	298	32.6	1.70
CHONH <sub>2</sub>	293	109	3.73
HCN	293	115	2.92
H <sub>2</sub> O	298	79	1.85

è un parametro macroscopico che perde ogni significato quando la distanza fra le cariche è dell'ordine delle dimensioni molecolari. Per esempio, se la distanza fra le cariche è di pochi angstroms, cosicché fra di esse si possano sistemare appena una o due molecole, l'energia di interazione non

può essere calcolata mediante l'espressione (6) perché le molecole interposte non possono essere rappresentate come un dielettrico continuo. In secondo luogo, il potere solvente di un liquido nei riguardi degli elettroliti non è legato soltanto alla sua costante dielettrica. Infatti, l'HCN liquido è in generale un solvente peggiore dell'acqua per i solidi ionici sebbene abbia un valore più elevato di  $\epsilon_r$  (Tabella 2). Queste differenze possono essere adeguatamente spiegate solo nell'ambito di una teoria generale del comportamento dielettrico che metta in relazione con le proprietà molecolari e le forze intermolecolari.

7. L'acqua liquida presenta un minimo nella comprimibilità isoterma. Normalmente la comprimibilità isoterma dei liquidi aumenta con la temperatura. Al contrario la comprimibilità isoterma dell'acqua diminuisce all'aumentare della temperatura dal punto di fusione fino a 46 °C. Questo fenomeno si manifesta a pressione atmosferica e scompare alle alte pressioni (al di sopra di 3·10<sup>3</sup> atm.).

8. La viscosità dell'acqua è caratterizzata da un coefficiente di pressione negativo. Nessun altro liquido, di cui sia noto il comportamento sperimentale, presenta la stessa caratteristica. In pratica, al di sotto dei 30 °C l'effetto iniziale di una compressione è quello di aumentare la fluidità. Esiste una diretta relazione fra questa proprietà e l'osservazione che in acqua la conducibilità di un elettrolita aumenta con la pressione.

### 3 LE PROPRIETA' DELLA MOLECOLA D'ACQUA

Il primo passo nell'approccio microscopico alle proprietà fisiche dell'acqua consiste nella determinazione delle proprietà strutturali, elettriche e dinamiche della molecola d'acqua isolata. Ciò può essere fatto teoricamente, per risoluzione diretta della pertinente equazione di Schrödinger molecolare, o attraverso una dettagliata analisi spettroscopica sull'acqua vapore. Indipendentemente dall'approccio teorico o sperimentale, una prima importante osservazione è che per quanto riguarda le acque naturali lo studio può essere limitato allo stato elettronico fondamentale. Infatti la prima transizione elettronica della molecola d'acqua cade a ~165 nm mentre al livello del mare il cut-off della radiazione solare dalla parte delle corte lunghezze d'onda è a ~320 nm (sebbene all'esterno dell'atmosfera lo spettro solare si estenda fino a <200 nm).

Di seguito sono riportate le principali proprietà della molecola d'acqua determinate sperimentalmente, ricordando comunque che molte di esse sono state riprodotte con buona precisione mediante calcoli quantomeccanici. Dalla spettroscopia rotazionale e vibrorotazionale è risultato che lo stato fondamentale è non-lineare, con simmetria  $C_{2v}$ .

I valori delle lunghezze di legame O-H e dell'angolo di legame HÔH sono dati nella Tabella 4 insieme ai corrispondenti valori misurati per l'acqua completamente e parzialmente deuterata.

**Tabella 3.** Proprietà strutturali<sup>a</sup> e momenti di dipolo elettrico<sup>b</sup> delle molecole <sup>1</sup>H<sub>2</sub>O, e <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O e <sup>1</sup>H<sup>2</sup>HO.

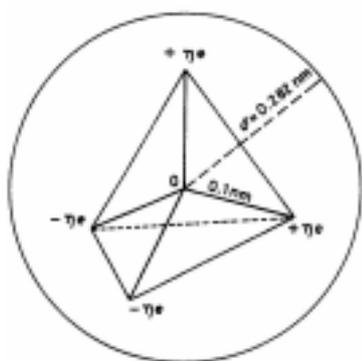
	<sup>1</sup> H <sub>2</sub> O	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	<sup>1</sup> H <sup>2</sup> HO
$r_{O-H}$ /pm	95,75	95,72	95,71
HÔH /gradi	104.474°	104.523°	104.529°
$\mu$ /Debye	1.8546±4.10 <sup>-4</sup>	1.8545±4.10 <sup>-4</sup>	-

<sup>a</sup>da rif.[4] <sup>b</sup>da rif.[5]

Da notare la sostanziale indipendenza dei parametri geometrici dalla sostituzione isotopica, che consegue dalla validità della separazione di Born-Oppenheimer. Una importante caratteristica della molecola d'acqua isolata è che l'angolo di legame  $\text{H}\hat{\text{O}}\text{H}$  è solo leggermente più piccolo dell'angolo tetraedrico ideale

$$\theta_t = 109.4719^\circ$$

cioè dell'angolo sotteso da due vertici di un tetraedro regolare al centro del tetraedro stesso. L'importanza dell'angolo tetraedrico in chimica strutturale nasce ovviamente dalla ibridizzazione  $sp^3$  degli orbitali atomici per gli elementi della prima riga del sistema periodico. Allora, in un certo senso, la struttura sperimentale della molecola d'acqua è in accordo con il modello empirico proposto da Bjerrum nel 1952 [6] (Figura 5) in cui l'atomo di ossigeno è collocato al centro di un tetraedro regolare ai cui vertici sono sistemate quattro cariche puntiformi alla distanza di 0,1 nm.



**Figura 5** - Modello "four-point-charge" proposto da Bjerrum [6] per la molecola d'acqua (da rif.[7]).

Due delle cariche sono positive e si trovano sugli atomi di idrogeno mentre le altre due sono negative e si trovano in posizioni che identificano i centri della densità dei due doppietti elettronici. Come vedremo nei prossimi paragrafi, il modello tetraedrico di Bjerrum, appositamente modificato per tener conto dei risultati quantomeccanici, si è dimostrato di grande utilità nella descrizione teorica delle proprietà fisiche dell'acqua nelle fasi condensate. La Tabella 3 mostra anche i valori del momento di dipolo elettrico ottenuti da misure molto accurate basate sull'effetto Stark, per  $^1\text{H}_2\text{O}$  e  $^2\text{H}_2\text{O}$  in bassi stati rotazionali (rotationless dipole moments) [5]. Anche in questo caso l'uguaglianza dei momenti di dipolo per  $^1\text{H}_2\text{O}$  e  $^2\text{H}_2\text{O}$  è scontata, visto che la distribuzione di carica, così come la geometria di equilibrio, non è influenzata dalla sostituzione isotopica. È opportuno qui ricordare un'altra importante proprietà elettrica molecolare: la polarizzabilità. In breve, in presenza di un campo elettrico esterno la distribuzione di carica di una molecola subisce una distorsione che dà luogo ad un momento di dipolo indotto. Se il campo applicato non è troppo forte il modulo del momento di dipolo indotto è dato semplicemente da

$$\mu_{\text{ind}} = \alpha E \quad (7)$$

dove  $E$  è il campo e  $\alpha$  è la polarizzabilità molecolare che, nel SI, risulta avere le unità

$\text{J}^{-1}\text{C}^2\text{m}^2$ . Per comodità, di solito viene riportato il valore di

$\alpha' = \frac{\alpha}{4\pi\epsilon_0}$  che ha le dimensioni di un volume essendo

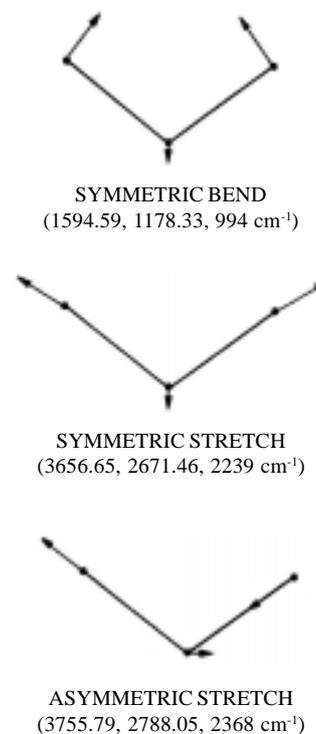
$[\epsilon_0] = [\text{J}^{-1}\text{C}^2\text{m}^{-1}]$  Per l'acqua, il valore di  $\alpha'$  determinato speri-

Settembre - Ottobre 2004

mentalmente è

$$\alpha' = 1,467 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 \quad (8)$$

Passiamo infine all'analisi delle vibrazioni molecolari. La Figura 6 mostra le direzioni del moto molecolare in ciascuno dei tre modi normali dell'acqua.



**Figura 6** - Direzioni del moto molecolare per i modi normali della molecola d'acqua. Fra parentesi sono riportate per ciascun modo normale le relative frequenze (esprese come numeri d'onda) per  $^1\text{H}_2\text{O}$ ,  $^2\text{H}_2\text{O}$  e  $^3\text{H}_2\text{O}$  (con  $^{16}\text{O}$ ) (da rif.[8]).

Due dei modi mantengono la simmetria molecolare  $C_{2v}$ , e siccome modificano principalmente l'angolo di legame e le lunghezze di legame, sono denominati rispettivamente bending simmetrico e stretching simmetrico. Il terzo modo normale coinvolge esclusivamente le oscillazioni in opposizione di fase delle due distanze O-H ed è chiamato stretching asimmetrico. La Figura 6 mostra che l'aumento della massa isotopica dell'idrogeno causa una netta diminuzione in tutte e tre le frequenze vibrazionali, attraverso un aumento delle masse ridotte dei moti nucleari. Naturalmente una sostituzione isotopica parziale, per esempio con formazione della molecola  $^1\text{H}^2\text{HO}$ , fa scomparire le caratteristiche di simmetria dei tre modi normali.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] R. A. Alberty e R. J. Silbey, *Physical Chemistry*, II ediz., capitolo 1, J. Wiley, New York, (1997).
- [2] J. N. Murrell e A. D. Jenkins, *Properties of Liquids and Solutions*, capitoli 1-3 e 8, J. Wiley, New York, (1994).
- [3] P. W. Atkins, *Physical Chemistry*, IV ediz., capitoli 6 e 22, Oxford University Press, (1990).
- [4] W. S. Benedict, N. Gailar e E.K. Plyler, *J. Chem. Phys.* **24**(1956)1139.
- [5] T. R. Dyke e J. S. Muentzer, *J. Chem. Phys.* **59**(1973)3125.
- [6] N. Bjerrum, *Science* **115** (1952) 385.

# L'INSEGNAMENTO DELLE SCIENZE IN EUROPA: UNO SGUARDO D'INSIEME

LIBERATO CARDELLINI (\*)

## Riassunto

*Lo studio PISA 2000 dimostra che la formazione del "prodotto" della scuola italiana ha l'urgente bisogno di essere ripensata in quanto esistono ampi e possibili spazi per un suo miglioramento. Dovrebbe essere perfino ovvio argomentare come l'eccellenza nell'insegnamento sia nell'interesse vero del paese, anche in considerazione della grande importanza che la formazione universitaria ha verso lo sviluppo economico del nostro paese. Allo scopo di presentare utili indicazioni circa le azioni da intraprendere vengono prese in esame le pratiche correnti in alcuni paesi europei. La direzione da seguire è quella di preparare professionalmente i futuri insegnanti attraverso la formazione teorica e la ricerca didattica. Un'altra pratica importante è quella della formazione continua e della motivazione degli insegnanti in servizio.*

## Abstract

*The PISA 2000 study demonstrates that the education process in Italian schools urgently needs to be rethought. The disappointing results show that some measures have to be taken for stopping this decline and for starting an improvement. It should be obvious to realize that excellence in higher education is in the best interest of the country, also in consideration of the great importance that higher education has in the development of the economy of modern society. In order to understand the measures that we have to take, it may be helpful to consider the ordinary practices in other European countries. We have to prepare professional future teachers through theoretical formation and research work on didactic questions. Another important practice are refresher courses and the motivation of in-service teachers.*

Lo studio PISA 2000 [1] mostra che i risultati dell'istruzione scientifica in Europa sono differenti nei diversi paesi e se consideriamo il punteggio ottenuto in rapporto alla spesa cumulativa il nostro paese ottiene i risultati peggiori. In considerazione dei modesti risultati ottenuti dai nostri studenti dobbiamo riconoscere che qualcosa non funziona come dovrebbe e abbiamo la responsabilità di considerare dei cambiamenti, certamente necessari, al nostro sistema di insegnamento. Senza avere la pretesa di essere esaustivo, lo scopo di questo articolo è quello di fornire indicazioni rispetto alle innovazioni possibili e nella giusta direzione, dato che come insegnanti di cambiamenti e di riforme dannose ne abbiamo

sopportate anche troppe. Anche per ritrovare almeno in parte un forse perduto entusiasmo, ingrediente essenziale nel nostro lavoro, potrebbe essere utile conoscere e valutare ciò che i nostri colleghi fanno in alcuni paesi europei.

Un'altra considerazione importante è che da molto tempo in vari paesi europei ci si è resi conto che, in modo analogo a buoni meccanici o buoni chirurghi, buoni insegnanti si diventa e per questo è necessaria una preparazione specifica. Ci sono segnali che dimostrano un cambiamento di atteggiamento molto importante: in Inghilterra la valutazione governativa dei professori universitari poggia sulle due colonne; ricerca e insegnamento. I dipartimenti universitari che risultano insufficienti in queste due attività vengono privati dei fondi e in qualche caso sono stati perfino chiusi. Per tutti i nuovi insegnanti universitari è ora obbligatorio seguire dei corsi di formazione nell'insegnamento e gli insegnanti in ruolo sono sollecitati a seguire questo addestramento volontariamente. In alcune università è stato possibile diventare professore associato sulla base di soli titoli didattici. E questo non è privo di logica: se vogliamo essere insegnanti professionisti di chimica, è ragionevole che sia richiesto di essere professionali sia come chimici che come insegnanti [2].

## La formazione degli insegnanti di scienze in Europa

Quando si parla di istruzione e magari lo si fa con l'intendimento di desiderare dei miglioramenti, è necessario considerare la preparazione degli insegnanti: sia quella specifica riguardo alla disciplina da insegnare (auspicando che in futuro un laureato in chimica non insegni matematica, o l'inverso ...), che quella pedagogica, relativa alle maniere didattiche di presentare concetti importanti o la successione degli argomenti da sviluppare per svolgere "il programma". Di pari importanza è la motivazione degli insegnanti verso l'insegnamento. Riguardo alla motivazione, evidentemente non serve che l'autorità preposta emetta una circolare in cui si fa obbligo agli insegnanti di essere motivati. Nei paesi seri, la motivazione viene mantenuta viva attraverso progetti che coinvolgono docenti esperti di didattica, normalmente afferenti ai dipartimenti di formazione scientifica e professori di scuola superiore, o anche insegnanti elementari e poi vengono studiati e valutati i risultati dell'esperimento. Per quanto riguarda la motivazione non voglio andare oltre, perché questo aspetto si potrà capire meglio tra le righe, nel seguito.

In Europa la preparazione dei futuri insegnanti di scienze viene svolta principalmente dai centri specializzati (Dipartimenti di didattica della Fisica, della Chimica, della Biologia e della Matematica) o dipartimenti di Science Education. Esistono anche due centri specifici già affermati e impegnati nella didattica delle scienze: il Centre for Science Education all'università di Glasgow (UK) e il prestigioso IPN (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Istituto per la Pedagogia delle Scienze Naturali) all'università di Kiel (Germania). Di questi due centri di eccellenza verrà riferito in un prossimo articolo.

124 (\*) Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche,  
60131 Ancona

[libero@univpm.it](mailto:libero@univpm.it)

Il compito di ciascun dipartimento è quello di fornire la conoscenza didattica (metodologica) per l'insegnamento della particolare disciplina. Gli studenti, futuri insegnanti, seguono lezioni a livello universitario sulle metodologie delle discipline impartite da esperti. Ad esempio il Dipartimento di Didattica della Chimica di Ljubljana (Slovenia) fornisce i seguenti corsi: Metodologia di Chimica Organica, Metodologia di Didattica della Chimica I e Metodologia di Didattica della Chimica II, Dimostrazione di Esperimenti I e Dimostrazione di Esperimenti II. Il Dipartimento collabora con scuole elementari e secondarie e segue gli studenti (futuri insegnanti) in aula quando vanno ad acquisire esperienze pratiche di insegnamento. Un'altro importante compito di questi Dipartimenti è di condurre ricerca educativa e la maggior parte dei dipartimenti offrono dottorati nella materia di loro competenza.

Una formazione più generale alla didattica delle scienze viene offerta dalle Facoltà di Didattica. Svolgono la formazione universitaria per futuri insegnanti al primo livello dell'educazione scientifica (scuola elementare) in accordo col programma di scienze. La formazione degli insegnanti per le scuole secondarie e terziarie avviene in modo separato attraverso i Dipartimenti specifici.

In Polonia la preparazione degli insegnanti viene svolta dalle 42 Facoltà di Scienze, attraverso 51 dipartimenti di metodologia della didattica in biologia, chimica, fisica, scienze della terra. La preparazione in matematica viene svolta al di fuori dei dipartimenti di didattica delle scienze. I dipartimenti fanno parte delle strutture delle rispettive materie; ad esempio il Dipartimento di Didattica della Chimica è parte della Facoltà di Chimica dell'Università Jagellonica di Cracovia. Naturalmente esistono appositi dipartimenti nelle università "pedagogiche" (sono sempre previsti 5 anni di studi) e inoltre vi sono 19 centri per la preparazione di insegnanti delle altre materie, e la formazione continua degli insegnanti avviene attraverso corsi brevi. Escludendo la matematica, nel lavoro di formazione di insegnanti di scienze sono coinvolti oltre 200 docenti universitari.

Nelle università irlandesi non ci sono dipartimenti di didattica chimica o di Science Education. La maggior parte dei ricercatori operanti nella didattica delle scienze lavora nei Dipartimenti di Education e si occupa della formazione degli insegnanti per il livello secondario. Nel 2000 è stata fondata l'associazione Irish Association of Science Education Lecturers (IASSEL) per coloro che si occupano di formazione scientifica nei corsi postlaurea.

L'associazione ha una ventina di membri in 12 università dell'Irlanda del nord e del sud. Ci sono 4 programmi di dottorato di didattica chimica per gli insegnanti già attivi. Tre università offrono la laurea di primo grado in scienze e didattica delle scienze, titolo qualificante per diventare insegnanti di scienze e altre 5 università offrono un Higher Diploma della durata di un anno come specializzazione della laurea di primo grado in scienze.

In Portogallo ci sono due tipi di istituzioni che formano gli insegnanti di scienze: le università e i centri di ricerca; in qualche caso queste due istituzioni coinvolgono le stesse persone. Dipartimenti di Science Education esistono nelle università di: Lisbona, Coimbra, Aveiro, Minho, Trás-os-Montes e Alto Douro, Oporto, Algarve, Évora e Beira Interior. I centri di ricerca, associati ai Dipartimenti di Didattica, hanno il supporto finanziario dalla Fondazione Portoghese

per la Scienza e la Tecnologia.

### Qualche utile esempio

In considerazione del fatto che nello studio PISA 2000 la Finlandia si colloca ai livelli più elevati di efficacia didattica, vediamo qualcuna delle attività che sono state intraprese in questo paese. Intanto, esistono due Dipartimenti per la formazione degli insegnanti nelle Università di Helsinki e di Jyväskylä. Riporto ora in breve di un progetto del Department of Teacher Education dell'Università di Helsinki, presentato al congresso ESERA di Salonicco [3]. La Scuola Virtuale Finlandese per la Formazione Scientifica (FVSSE) è stata fondata nell'autunno del 2000 con lo scopo di: (i) sviluppare nuovi metodi per la formazione scientifica utilizzando le tecnologie della comunicazione e dell'informazione (ICT, Information and Communication Technologies) in modo versatile; (ii) aiutare e assistere gli insegnanti di scienze nell'adottare e sviluppare modelli pedagogici per l'utilizzo delle ICT nella formazione scientifica e (iii) sviluppare materiale elettronico per l'apprendimento e la formazione scientifica. Questo progetto della durata di tre anni, coinvolge gli insegnanti di 15 scuole secondarie (lower and upper secondary) distribuite su tutto il territorio. Per lo scambio di esperienze e per la formazione gli insegnanti partecipanti si incontrano fisicamente per due giorni ogni tre mesi, e, nell'intervallo tra questi incontri, per mezzo di conferenze al computer. Questo progetto è stato originato dalle direttive ministeriali contenute nel documento SETRIS 2000 del Ministero per l'educazione (online at: [www.minedu.fi/julkaisut/information/englishU/index.html](http://www.minedu.fi/julkaisut/information/englishU/index.html)).

Ora qualche cenno al progetto Svedese NTA (NatuNetenskap och Teknik for Alla), scienza e tecnologia per tutti. Il progetto è iniziato nel 1997 quando uno studio nazionale condotto su studenti dell'ultimo anno delle scuole dell'obbligo ha analizzato le risposte a domande riguardanti l'ecologia, il corpo umano e la materia ed è risultato che la preparazione era insoddisfacente rispetto agli standard del programma Nazionale. Il programma è finanziato dal Ministero dell'Educazione e delle Scienze e ... da diversi fondi privati! È stato sviluppato sulla falsariga del NSRC (National Science Resources Center, fondato dall'U.S. National Academy of Sciences in cooperazione con lo Smithsonian Institution, nato con lo scopo di aumentare la qualità della formazione scientifica e tecnica nella scuola dell'obbligo negli Stati Uniti). In Svezia la maggior parte delle scuole sono gestite dalle municipalità e in ogni municipalità è stato nominato un coordinatore del progetto. Il progetto è organizzato secondo tre direttrici principali; una riguarda lo sviluppo del curriculum, centrato intorno a 14 unità tematiche sperimentali e ogni unità prevede da 10 a 12 settimane per essere completata, cosicché l'insegnante ha anche il tempo per seguire quanto lo studente apprende. Un altro aspetto importante è il supporto organizzato del materiale, che fornisce all'insegnante tutto il materiale necessario per ogni unità, comprese le istruzioni - sia per l'insegnante che per gli studenti. Infine gli insegnanti sono coinvolti in un programma di sviluppo continuo delle competenze: ogni insegnante partecipa ad una giornata di addestramento e di pratica sull'uso di ciascuna unità sperimentale nell'area tematica scelta. Lo sviluppo delle competenze è condotto in collaborazione con colleghi esperti ed esperti dell'industria e dell'università. Inoltre sono previsti dei corsi speciali sia di argomenti scientifici, che pedagogici: quanti insegnanti nel nostro paese hanno avuto una preparazione paragonabile?

Riporto in breve di una tesi (n.ro 1994:801) realizzata da un insegnante (di matematica e di scienze naturali) laureando nel dipartimento Education of Teachers dell'Università di Gothenburg. Il titolo tradotto è: "Come far nascere a scuola l'interesse per la chimica negli allievi dai 9 ai 12 anni". La domanda a cui questo studio cerca di rispondere è se sarebbe positivo anticipare l'introduzione della chimica, rispetto alla pratica corrente di iniziare nella fascia di età dai 13 ai 16 anni. L'oggetto dello studio è stata una classe di 26 allievi e il mezzo utilizzato per introdurre la chimica è stato un fascicolo dal titolo: "Chemistry is Magic or The Saga of Gilbert".

Gilbert è un simpatico draghetto che con le sue avventure, narrate in 10 capitoli, introduce 10 esperimenti chimici. Essi sono: Do-it-yourself-volcano; The shellless egg; The light in the jar; The dirty air of the cities; The tea which remained in the cup; Pear scent; Colour chromatography; Environmental test with onions; Potted ghost; Make your own sparkling Gilbert. Sono esperimenti che creano interesse, scelti con il criterio della bassa pericolosità e basati su fenomeni comuni della vita e che utilizzano per gli esperimenti ingredienti poco costosi, molti dei quali reperibili in casa. Sono riportati anche due esperimenti extra (Dish-snake e Giant crystals) per ... futuri vincitori del premio Nobel in chimica. Si può aggiungere che il volume "Chemistry is Magic or The Saga of Gilbert" è stato prodotto dalla Kemi Kontoret, l'associazione svedese delle industrie chimiche.

La tesi di fatto è uno studio sulla motivazione, le percezioni e su alcune nozioni apprese dagli studenti: queste informazioni sono state raccolte attraverso dei questionari che sono stati messi a punto attraverso uno studio pilota. La conclusione dello studio è che The Saga of Gilbert ha suscitato un grande interesse verso la chimica non solo sugli allievi, ma anche sui loro genitori e sugli insegnanti coinvolti.

### La scuola finlandese per laureati in didattica della matematica, fisica e chimica

Fondata nel 1995 con quattro posti di ricercatore a tempo pieno, conta sulla partecipazione di 7 università per un totale di 23 dipartimenti. Lo scopo della scuola per laureati è quello di formare specialisti con una solida preparazione basata sulla ricerca per lo sviluppo continuo della didattica della matematica, della fisica e della chimica, sia per la scuola secondaria che per l'università. Questo scopo viene raggiunto facendo incontrare le prospettive fornite dalla pedagogia con quelle della materia specifica, attraverso la ricerca. Le caratteristiche più importanti di questa scuola:

- Le attività sono interdisciplinari (multidisciplinari).
- La ricerca è di natura teorica, empirica e applicata.
- La ricerca combina le prospettive del contenuto e quelle metodologiche della didattica, della matematica e delle scienze.
- La ricerca è finalizzata allo sviluppo strutturale e metodologico e viene correlata al contenuto dell'insegnamento scientifico, dal punto di vista didattico.

Organizzazione. La scuola per laureati fornisce due titoli: licenza e dottorato. Gli studenti possono seguire i corsi nei Dipartimenti di Matematica, di Fisica, di Chimica e di Teacher Education in qualunque delle università partecipanti: Università di Helsinki, Università di Joensuu, Åbo Akademy University, Università di Jyväskylä, Università di Oulu, Università di Lapland, Università di Turku.

Università	Studenti	A tempo pieno
Università di Helsinki	48	4
Università di Joensuu	16	4
Åbo Akademy University	9	1
Università di Jyväskylä	25	6
Università di Oulu	7	1
Università di Lapland	3	-
Università di Turku	4	-

Tab. 1. Numero di studenti iscritti nell'agosto 2000, nelle varie università finlandesi.

Nell'agosto 2000, la situazione era la seguente: 112 studenti in totale (16 studenti ricercatori a tempo pieno e 96 part-time) seguiti da 57 supervisori; 10 posti da ricercatore a tempo pieno erano finanziati dal Ministero dell'Educazione e 6 dalle università o dalle fondazioni. Nel 1999 sono state prodotte 37 pubblicazioni, 6 studenti hanno conseguito il dottorato e altri 15 hanno conseguito la licenza. La scuola segue alcune regole:

- Lo studente deve avere la qualifica di insegnante e guadagnarsi il diritto di proseguire gli studi dopo la laurea in una delle università partecipanti, che poi avrà la responsabilità principale nel seguirlo negli studi.
- Per ogni studente laureato le università nominano due supervisori, uno esperto nel settore scientifico e l'altro esperto nella didattica.
- Allo studente laureato in didattica vengono richiesti studi in matematica, fisica o chimica; studi in didattica sono invece richiesti agli studenti laureati in matematica, fisica o chimica.
- L'ammissione al programma di post-laurea richiede la disponibilità a svolgere studi avanzati nelle discipline e un piano di studio personale per conseguire la licenza o il dottorato.
- Particolare importanza viene data all'adeguatezza degli studi metodologici nel campo della didattica.

### L'associazione finlandese degli insegnanti di Scienze MAOL (Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto)

L'associazione (<http://www.maol.fi/>) coinvolge circa 4500 insegnanti di matematica, fisica, chimica e informatica dei vari livelli del sistema scolastico finlandese. Ha lo scopo di assistere gli insegnanti nel loro lavoro pedagogico e sostiene il lavoro fatto dalle associazioni locali, attraverso una molteplicità di iniziative:

- Pubblica la rivista bimestrale DIMENSIO, sull'insegnamento delle scienze;
- Invia ad ogni associato 4 bollettini all'anno per informare su eventi, corsi e aggiornamenti riguardanti l'insegnamento;
- Organizza ogni anno 2 convegni sulla formazione continua;
- Organizza corsi di formazione su argomenti importanti;
- Organizza competizioni nazionali tra studenti;
- Mantiene contatti internazionali con organizzazioni pedagogiche e organizza viaggi di studio e le partecipazioni ai congressi;
- Pubblica materiale per l'insegnamento e fornisce test per le scuole ai vari livelli di insegnamento.

### Il Liaisons Interuniversitaires pour la Recherche en Education Scientifique et Technologique (LIREST)

L'associazione per la didattica delle Scienze e delle Tecni-

che ha in Francia una storia lunga, essendo l'erede di una iniziativa nata nel 1971. Il nuovo LIREST, coordinato dal Prof. Jean-Louis Martinand, nasce dall'unione di vari gruppi di ricerca, di educazione e formazione e ha come scopo la costruzione di una cultura didattica e mediatica comune tra i vari laboratori e gruppi di ricerca. Mette a disposizione dei suoi membri dei servizi e organizza delle manifestazioni, tra le quali:

- La lettera LIREST, che viene inviata a 500 destinatari;
- Seminari su ricerche comuni (5 ogni anno);
- Le giornate Internazionali sull'Educazione e la Cultura Scientifica a Chamonix.

Sono attive cinque tematiche di ricerca comuni, più alcune tematiche particolari dei vari gruppi di ricerca, che coinvolgono numerosi insegnanti. Un aspetto interessante di questi gruppi formati da insegnanti-ricercatori è che contribuiscono alla formazione degli insegnanti delle scuole superiori, anche utilizzando le nuove tecnologie. Meritano di essere menzionati dei dottorati di ricerca nella didattica delle scienze e della tecnica che hanno come scopo di preparare alle ricerche sui processi di insegnamento e di apprendimento.

Sul sito si può trovare parecchio materiale, tra cui il pregevole Rapport Scientifique 1997-2000, dove sono riportate notizie e motivazioni sulle ricerche, l'elenco delle pubblicazioni, le competenze e le attività di formazione. Purtroppo la mia scarsa dimestichezza col francese mi impedisce di valorizzare appieno il lavoro che viene fatto dai nostri vicini. Si può accedere all'URL: <http://www.stef.ens-cachan.fr/lirest/lirest.htm>, dove è possibile scaricare materiale vario, tra cui tesi, atti di giornate di studio e "colloqui" di interesse didattico. Merita un cenno anche l'Association pour la Recherche en Didactique des Mathématiques (ARDM) all'indirizzo: <http://www.ardm.asso.fr/>

Se un giovane leggesse queste note, potrebbe essere indotto a pensare di aver studiato e magari di insegnare in un paese sottosviluppato: giudizio erroneo, perché vero solo in parte. Mi sono ritrovato un volume dei Quaderni di Corea (4), in cui si dice del seminario di Laboratorio di Scienze della Natura, corso tenuto dal Prof. A. Bargellini, docente di Chimica Organica all'Università di Pisa e Membro Ministeriale del Comitato Scientifico della Scuola Media "N. Pistelli". Nel corso sono stati trattati argomenti di chimica, fisica, biologia e sono stati presentati e commentati alcuni progetti importanti di didattica tra i quali: Nuffield, Chemstudy e S.C.I.S.

Nel volume citato sono riportate tre tesine che costituiscono l'approfondimento di alcuni dei progetti studiati durante il corso. I titoli delle tesine sono: Un progetto svedese per l'insegnamento delle materie scientifiche "Project Materia" (p. 65-84); Un progetto scozzese per un insegnamento interdisciplinare delle materie scientifiche "Working Party" (p. 85-100); Un progetto americano per l'insegnamento delle materie scientifiche S.C.I.S. (p. 101-112). Le tre tesine sono arricchite da schede con esperimenti molto interessanti: un esperimento di chimica è la cromatografia su carta, esperimento riportato anche nel volume *The Saga of Gilbert*. Un esperimento di fisica è la dilatazione dei metalli dovuta all'aumento della temperatura. La discussione delle tesi aveva luogo in laboratorio e negli articoli sono riportate alcune foto degli esperimenti fatti. Al nostro improbabile giovane lettore vorrei chiedere: trenta anni fa, quanti paesi al mondo potevano vantare una didattica così avanzata, come risulta

dalle tesine e animata da un collega così prestigioso come il Prof. Bargellini?

Alle pagine 87-88 dell'articolo citato è riportato dello Scottish Schools Science Equipment Research Centre (S.S.S.E.R.C.); "questa organizzazione con sede ad Edimburgo ha lo scopo di **consigliare** le autorità scolastiche locali **sugli acquisti** delle apparecchiature scientifiche e di **aiutare gli insegnanti** a capire e ad **usare in modo appropriato nuove attrezzature didattiche**". Mi risulta che i sottoscala di alcune scuole siano pieni di computer - compreso l'ormai da tempo inutile cimelio storico M-20 - molti dei quali forse mai utilizzati: l'S.S.S.E.R.C. avrebbe autorizzato simili spese?

Conosco qualcosa circa l'istruzione scientifica in Australia. Negli anni '60 la situazione scolastica in quel paese era molto critica perché non preparata ad affrontare due problemi rilevanti: le scuole furono "inondate" da un alto numero di studenti, sia per l'aumentato interesse verso l'istruzione che per fenomeni di immigrazione e c'era anche scarsità di insegnanti, soprattutto di insegnanti qualificati di scienze. Nelle università si è puntato sulla qualità della didattica e negli anni '80 l'Università di Monash è diventata un centro di eccellenza riconosciuto e ha attratto numerosi studiosi e ricercatori nella didattica e ha dato origine al progetto PEEL (Project for Enhancing Effective Learning); un progetto che da 20 anni contribuisce in modo significativo alla qualità dell'istruzione in quel paese. Il progetto coinvolge centinaia di scuole e migliaia di professori che si aiutano tra loro per tutti i problemi riguardanti l'insegnamento e l'apprendimento e ricevono sostegno sulle tecniche e sui nuovi metodi dalle università. I dati dello studio PISA 2000 dicono dell'Australia: abilità nelle lettura, 528 (contro i nostri 487); abilità matematiche, 533 (contro 457) e abilità nelle scienze, 528 (noi, 478). In "Learning Science" (5) e in numerosi articoli, Richard White, uno degli animatori del progetto PEEL descrive diversi esperimenti di fisica, alcuni molto simili, anche nella finalità di far ragionare gli studenti e di guidarli nella costruzione del significato, a quelli sviluppati dal Prof. Bargellini. Come è allora che in Australia la qualità dell'insegnamento è molto aumentata e da noi (convincimento personale) sia di gran lunga diminuita?

In una prossima puntata verranno considerati altri aspetti significativi rispetto all'insegnamento scientifico di ciò che ancora viene fatto in alcuni paesi europei, in particolare di alcuni centri di eccellenza, che servono anche per preparare e aggiornare gli insegnanti.

### Ringraziamenti

Ringrazio il consiglio FECS DivCED per le preziose informazioni fornitemi dai rappresentanti dei vari paesi europei.

### Bibliografia

- [1] L. Cardellini, Lo stato di salute dell'insegnamento come risulta dallo studio PISA 2000, *La Chimica nella Scuola*, 2004, **XXVI**, 45-50.
- [2] L. Cardellini, Una intervista con Alex H. Johnstone, *La Chimica nella Scuola*, 2002, **XXIV**, 57-60, p. 59.
- [3] L. Cardellini, 3rd ESERA Salonicco 21 - 25 agosto 2001, *La Chimica nella Scuola*, 2002, **XXIV**, 95.
- [4] *L'animazione: alcune ipotesi di lavoro*, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze, 1972.
- [5] R. T. White, *Learning Science*, Oxford: Blackwell, 1988.

## Una proposta didattica volutamente incompleta sugli acidi e sulle basi.

### I - Qualche riflessione sulla programmazione

ERMANNIO NICCOLI (\*)

#### Riassunto

*La prima parte di questo articolo comprende alcune riflessioni sulla programmazione e sulle dinamiche che vengono messe in moto quando si organizza un intervento didattico. Si sottolinea come i quattro aspetti fondamentali della programmazione siano strettamente legati tra loro ma come non sia influente partire da un aspetto piuttosto che da un altro nel programmare. Viene fatta una distinzione tra disciplina e materia di insegnamento. Per un modulo su "acidi e basi" a livello di triennio della scuola secondaria superiore si consiglia di partire dai contenuti disciplinari. Si sottolinea infine l'importanza, per il processo di trasmissione dei contenuti disciplinari, dell'aggiornamento da parte del docente e del possesso dei prerequisiti da parte del discente.*

#### 1. Premessa

All'inizio d'ogni anno scolastico si celebra nella scuola un rito propiziatorio che si chiama programmazione.

La programmazione, che dovrebbe rappresentare una normale attività per ogni insegnante, assume in molte scuole un carattere sacrificale in quanto, così come viene concepita, consuma il tempo e l'energie di gruppi ristretti di insegnanti votati alla bisogna.

Quindi la programmazione, così delegata, apparentemente libera la maggioranza degli insegnanti da una noiosa incombenza e, analogamente a certi matrimoni, si svolge per procura.

Il fumo del sacrificio andrà a vellicare le narici del moloch burocratico che si dichiarerà soddisfatto.

La programmazione viene successivamente formalizzata ed approvata dal collegio dei docenti; questo strumento prima di entrare in funzione dovrebbe essere adattato alla specifica situazione di ciascuna classe, viceversa la maggioranza degli insegnanti attende impaziente di entrare nelle aule, lasciando fuori la programmazione!

Il lavoro legato alla programmazione viene purtroppo percepito come estraneo alla normale attività didattica. Nonostante che se ne parli da oltre venti anni, viene vissuto come un puro adempimento burocratico. Siamo di fronte ad una incomprensione profonda, una vera e propria sottovalutazione.

La programmazione viene surrogata da una tradizione didattica che si tramanda tra gli insegnanti di generazione in generazione e che si alimenta soprattutto dei contenuti suggeriti, spesso con scarsa autorità, dai libri di testo. L'insegnamento che ne segue, viene vissuto come un'attività

spontanea, esclusivamente basata sull'intuizione e sulla creatività del docente, sulla sua capacità di stabilire un rapporto empatico con la classe.

Gli insegnanti tradizionalisti in servizio resistono alle sollecitazioni dei corsi di aggiornamento. I futuri insegnanti che frequentano i corsi di formazione (SSIS), a loro volta sembrano impazienti di calarsi nell'insegnamento più tradizionale, lasciando così cadere le indicazioni ricevute. Il rischio è che ogni sforzo di modernizzare la professione venga vanificato.

Un insegnamento basato sulla sola esperienza potrebbe comunque produrre risultati positivi se sotto il profilo disciplinare provvedesse ad aggiornarsi, sotto il profilo metodologico ad organizzarsi e se stabilisse con chiarezza quali apprendimenti sono prioritari e quindi prioritariamente da verificare. Un insegnamento tradizionale ma consapevole, dovendo trovare il giusto compromesso tra esperienza, sensibilità e organizzazione didattica, comporta comunque un lavoro impegnativo.

Perché non accettare quindi le tecniche di programmazione dal momento che queste permettono un migliore controllo dell'insegnamento?

In un recente passato le autorità ministeriali, ritenendo che la programmazione fosse prassi ormai consolidata, avevano ammesso un certo grado di autonomia dei docenti soprattutto nella scelta dei contenuti ed avevano perciò rinunciato in buona misura a dettare programmi prescrittivi, limitandosi a fornire indicazioni sui contenuti irrinunciabili; si dilungavano viceversa a fornire suggerimenti metodologici e orientamenti sotto forma di obiettivi.

Ora come dimostra la diatriba sulle teorie evoluzionistiche, il Ministero sembra rivedere le sue posizioni.

Personalmente ritengo che anche per gli insegnanti, come per i magistrati, i medici e altre categorie, debba esserci una maggiore responsabilizzazione accompagnata da una maggiore autonomia culturale. Come contropartita dovrebbe aumentare l'impegno degli insegnanti per una migliore professionalità che si tradurrebbe anche nella capacità di programmare l'attività didattica.

La programmazione aspira ad essere l'intelaiatura di ogni insegnamento, essa è strettamente legata alla disciplina e alle specifiche condizioni in cui opera ogni insegnante, quindi non può essere delegata. Lo stesso consiglio di classe si limita ad uniformare alcuni criteri generali, specialmente quelli riguardanti la valutazione degli alunni.

Per questa ragione la presente proposta didattica è volutamente incompleta, è una proposta che lascia aperte tutte le opzioni che sono legate alle specifiche situazioni didattiche ma sottolinea il lavoro legato alla elaborazione dei contenuti disciplinari, con particolare attenzione al rapporto tra disciplina scientifica e materia di insegnamento.

## 2. Quali priorità nel programmare

Secondo uno schema ormai classico [1] la programmazione rappresenta un intreccio tra obiettivi, contenuti, metodologie e verifica; questi quattro elementi sono strettamente interdipendenti tra loro.

Come suggerito nella figura che segue (Fig. 1), ogni elemento può essere modificato in considerazione degli altri tre.

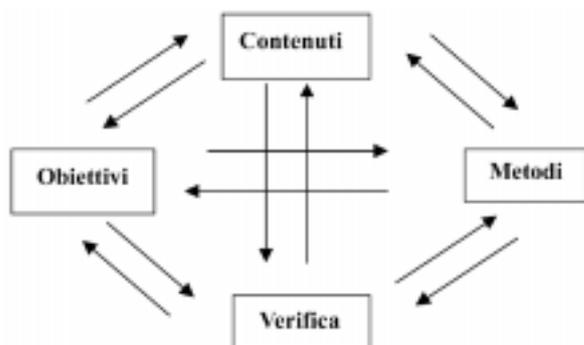


Fig. 1

Il sistema così concepito è chiuso su se stesso e quindi autoreferenziale solamente per quanto concerne la sua coerenza interna, riferita alla situazione specifica della classe, ma può essere costruito a partire da uno qualunque dei quattro elementi e fare seguire via via tutti gli altri fino ad ottenere la bozza complessiva dell'impianto. Segue l'affinamento del sistema che si ottiene iterando degli aggiustamenti incrociati, sino a raggiungere per approssimazioni successive un ragionevole equilibrio.

In realtà l'elemento di partenza dal quale si comincia a programmare, nonostante il lavoro di affinamento ed equilibratura, mantiene una sua preminenza nel caratterizzare tutto l'impianto; di conseguenza *per facilitare la programmazione conviene partire dall'elemento che in base alle finalità generali risulta prioritario.*

Nella programmazione scolastica, burocraticamente concepita, si usa *programmare a partire dagli obiettivi, dando per scontata la scelta dei contenuti.*

Questo procedimento è in parte giustificato nella scuola dell'obbligo dove la crescita cognitiva è l'aspetto fondamentale, ma al termine della scuola secondaria dove è centrale la formazione culturale, *dobbiamo prioritariamente rivolgere la nostra attenzione ai contenuti disciplinari.* Dopo si può procedere alla formulazione degli obiettivi e a seguire alla messa a punto della verifica.

A tutto ciò si deve aggiungere che la formulazione degli obiettivi è facile solo in apparenza, in quanto gli obiettivi di tipo cognitivo sono spesso annidati nei contenuti e non sempre facili da esplicitare, gli obiettivi intesi come abilità sono spesso condizionati dal metodo di lavoro e comunque richiedono, per essere conseguiti, un certo esercizio, gli obiettivi intesi come competenze maturano molto lentamente: spesso indicano più una direzione di marcia che un traguardo.

Infine va notato che una programmazione inesperta può non cogliere obiettivi assolutamente appetibili che magari vengono raggiunti ad insaputa dell'insegnante stesso; non dimentichiamoci che l'alunno produttivo si muove in quello spazio di autonomia che è previsto dai principi del

costruttivismo [2].

La programmazione così pensata può apparire onerosa, incompatibile con i tempi scolastici e le magre retribuzioni dei docenti, ma in realtà si programma *ex novo* solamente nel primo anno che si assume un insegnamento, magari aiutandosi con il lavoro di un collega che ci ha preceduto; negli anni successivi si procede ad aggiustamenti sulla base dell'esperienza fatta.

A questo punto riassumiamo il tutto sotto forma di suggerimenti:

- > la programmazione è un utile antidoto contro l'improvvisazione;
- > la programmazione, se non è generica, è condizionata oltre che dalla natura della disciplina, dal carattere delle classi, dalla preparazione dell'insegnante e quindi non può essere delegata;
- > i contenuti disciplinari rappresentano il punto di partenza della programmazione
- > ogni programmazione va a regime nell'arco di due o tre anni attraverso una serie di aggiustamenti;
- > non ci deve essere soluzione di continuità tra programmazione generale e organizzazione delle unità didattiche.

## 3. Disciplina scientifica e materia d'insegnamento: una distinzione indispensabile

Un ricercatore è un fruitore della disciplina, essa rappresenta la piattaforma della sua attività di ricerca, egli produce conoscenze nuove che alimentano in primo luogo lo sviluppo della scienza (filogenesi).

Anche l'insegnante è un fruitore della disciplina a partire dalla quale egli elabora strumenti che alimentano prevalentemente lo sviluppo culturale e psicologico degli individui (ontogenesi)<sup>1</sup>.

I due soggetti, il ricercatore e l'insegnante, fanno capo alla stessa disciplina ma con finalità diverse ossia guardano alla disciplina attraverso ottiche differenti. Si impone quindi una *distinzione tra contenuti disciplinari e contenuti dell'insegnamento/apprendimento.*

*I due differenti piani culturali comportano non solo un differente grado di approfondimento ed una differente estensione della materia trattata ma spesso un diverso modo di rappresentare i concetti e di collegarli logicamente tra loro.* La riflessione tradizionalmente dedicata ai contenuti dell'insegnamento è spesso generica, manca la necessaria attenzione alle connessioni tra i vari concetti e si rischia di *non fare emergere la varietà delle scelte didattiche possibili.* Non bisogna mai perdere di vista che lo stesso argomento didatticamente può essere affrontato da punti di vista diversi e diversamente sviluppato.

L'insegnante programmatore, focalizzato un certo contesto didattico, *sceglie i contenuti disciplinari e li organizza in base a ciò che vuole comunicare ed in base alle modalità della comunicazione.*

Questo comporta di *ritagliare parti della disciplina che, in relazione al livello scolastico, risultano essere dei contenuti irrinunciabili e nel predisporli nella forma dovuta.*

Le suddette operazioni ci restituiscono di norma un materiale didattico un poco disarticolato per cui sarà necessario *connettere i vari concetti tra loro mediante relazioni di tipo scientifico, storico, epistemologico o semplicemente logico;* questo può essere fatto agevolmente mediante le *mappe concettuali.*

<sup>1</sup> Naturalmente nulla impedisce che l'insegnante faccia ricerca in campo didattico o che il ricercatore vesta i panni del didatta.

In questo modo si crea una rete di concetti che ha la funzione di facilitare sia la trasmissione che la comprensione dei concetti stessi e si ottiene quella che viene chiamata *materia di insegnamento per distinguerla dalla disciplina scientifica corrispondente*.

Molti insegnanti cercano di aggirare le difficoltà che queste operazioni comportano, utilizzando in blocco il lavoro dei colleghi che li hanno preceduti nell'insegnamento, rinunciando a personalizzare il programma. In queste condizioni l'insegnante rischia la *routine*, non padroneggia appieno il suo insegnamento e di fronte a situazioni completamente nuove non sa come comportarsi.

La procedura ideale richiederebbe che l'insegnante partisse dall'esame della disciplina nella sua integrità, ma qualsiasi disciplina matura ed affermata si presenta come un aggregato estremamente complesso di sottodiscipline [3], dove ogni singola conoscenza tende ad ampliarsi ed a suddividersi in un continuo processo di approfondimento e di specializzazione. Un singolo argomento, se risulta particolarmente fecondo, si dilata sino a costituire una sottodisciplina, un esempio recente dalla chimica dei nanocomposti [4].

Infine ciascuna disciplina ai suoi confini tende a fondersi con le discipline limitrofe con generazione di intrecci interdisciplinari e di nuovi campi di ricerca.

A tutto ciò si aggiunga che questi universi conoscitivi si evolvono in una direzione piuttosto che in un'altra sotto le spinte più diverse: la curiosità scientifica, la situazione storica, le ragioni politiche, economiche, filosofiche e personali.

Affrontare globalmente tutta la disciplina per ricavarne uno strumento didattico è oggettivamente una impresa improba; per ridurre le difficoltà si possono utilizzare materiali già parzialmente organizzati a fini didattici, quali i testi universitari relativi ai filoni classici della Chimica ed eventualmente i testi di Storia della Chimica. Queste sono fonti di livello intermedio, accessibili per organizzazione e per modalità di espressione al docente ma non ai normali discenti di scuola secondaria<sup>2</sup>.

Scelti i contenuti disciplinari fondamentali e messi questi in relazione con gli altri aspetti della programmazione, si può passare a quella che potremmo chiamare la "programmazione fine" che coincide sotto molti aspetti con la tradizionale preparazione delle lezioni.

La "programmazione fine" articolata in unità didattiche, è il *copione destinato ad essere interpretato da docenti e studenti*, rappresenta la carne viva dell'insegnamento e traduce in atti concreti quanto indicato dalla programmazione generale, rispetto alla *quale non deve presentare soluzioni di continuità*.

Metodologie, obiettivi e verifica sono troppo legati alle situazioni specifiche perché si possano dare suggerimenti stringenti. Dal canto loro i suggerimenti a carattere generale abbondano sui vari manuali e comunque devono essere sempre interpretati.

Lo scopo di questo lavoro è quindi il seguente: *avanzare una proposta sulla elaborazione dei contenuti e la produzione di unità didattiche relative alle proprietà degli acidi e delle basi, predisponendola in modo che risulti adattabile a differenti contesti*.

Vediamo intanto alcune questioni preliminari:

<sup>2</sup> Come si può comprendere, non ha molta importanza per i nostri scopi attingere a edizioni particolarmente recenti, tanto più che l'evoluzione della didattica universitaria non è sincronizzata con l'evoluzione della didattica per scuola secondaria.

> è sempre consigliabile che l'insegnante compia a titolo di autoaggiornamento una serie di approfondimenti del materiale scientifico che in seguito dovrà essere tradotto in materiale didattico. Gli approfondimenti possono consistere tanto in un inquadramento storico dell'argomento quanto nella revisione e nell'aggiornamento dei concetti più problematici;

> si valutano ed eventualmente si integrano i prerequisiti in possesso del discente;

> si sceglie l'inquadramento dell'argomento ossia il punto di vista da privilegiare, tenuto conto dell'economia generale dell'operazione. Il punto di vista viene esplicitato mediante la struttura di un modulo sotto forma di una mappa concettuale le cui caselle rappresentano appunto delle unità didattiche;

Compiute queste operazioni, si scelgono i contenuti e si organizzano sotto forma di unità didattiche e di schede di lavoro.

Gli approfondimenti del docente, i prerequisiti del discente ed i contenuti debitamente organizzati si interconnettono a formare un tutto continuo, rappresentabile con un poco di fantasia come una struttura a *sandwich* (Fig. 2).

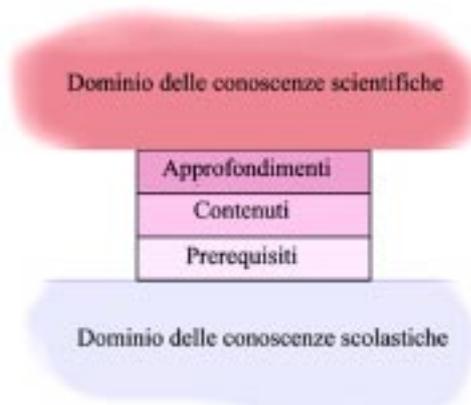


Fig. 2

Gli approfondimenti del docente assicurano rigore e continuità tra i contenuti disciplinari e la materia di insegnamento, i prerequisiti permettono al discente di "agganciare" i nuovi contenuti e di farli propri ossia di integrarli con quanto già conosce.

Quindi la struttura a *sandwich* assicura *continuità tra conoscenze scientifiche e le conoscenze del discente, passando attraverso la materia d'insegnamento*.

Lo scopo principale di questa laboriosa operazione è quello di riuscire a trasmettere delle conoscenze nonostante i differenti livelli culturali e cognitivi, evitando nel contempo salti logici, concetti lacunosi o distorti e connessioni arbitrarie tra i diversi argomenti.

A conclusione di questo paragrafo si può dire che nell'ambito della programmazione l'organizzazione della comunicazione didattica merita una particolare e specifica attenzione.

#### 4. Alcuni possibili approfondimenti: l'autoaggiornamento del docente

Questo paragrafo è puramente esemplificativo, infatti è impossibile prevedere di quali approfondimenti abbisogna un

docente, il quale oltretutto potrà variare sia il livello sia l'estensione dell'approfondimento stesso.

In sostanza si invita a compiere un lavoro di consolidamento culturale per programmare in modo consapevole. Inutile dire che l'autoaggiornamento è particolarmente raccomandato per quei docenti che da anni praticano un insegnamento routinario e che si sono recentemente convertiti alla programmazione.

Un inquadramento storico dell'argomento[5] [6] [7] ad esempio aiuta a capire come si è evoluto il concetto di acido e di base ed aiuta a individuare il livello teorico da adottare in relazione al livello scolastico.

La teoria sugli acidi e sulle basi secondo Lowry e Brønsted [8] [9] [10], viene spesso frettolosamente enunciata quasi che fosse un'appendice della teoria di Arrhenius, una sorta di curiosità scientifica<sup>3</sup>. Volendo impostare l'argomento basandosi esclusivamente su questa teoria, è più che mai necessario un suo aggiornamento ed un suo inquadramento.

Il pH delle soluzioni consiste in una modalità di rappresentazione in linguaggio matematico dell'acidità di una soluzione [11], che viene estesa anche ad altre grandezze. L'argomento, anche se ricorre molto frequentemente, è importante soprattutto da un punto di vista applicativo e non ha senso farne una specie di icona della chimica e collocarlo in una posizione centrale del programma. Tuttavia l'argomento pH può essere una occasione per riflettere brevemente sul rapporto tra concentrazione ed attività, problema generale per tutta la Chimica.

Gli indicatori sono anch'essi argomento a carattere applicativo [12] per cui di norma vengono presi in considerazione esclusivamente da un punto di vista pratico. Viceversa è bene entrare un poco più nel merito del loro funzionamento.

Un ultimo argomento adatto per allestire esercitazioni di laboratorio e di grande importanza in campo biochimico, è quello delle soluzioni tampone[10] [12].

### Inquadramento storico

Gli acidi e le basi sono categorie di sostanze note fino dall'antichità. Il nome "acido" viene dal latino *acidum* che significa aspro, pungente; il nome "alcali" (basi) viene dall'arabo *al-qali* che sta ad indicare la potassa contenuta nella cenere di legna, le cui soluzioni sono fortemente basiche.

Gli alchimisti conoscevano la capacità degli acidi e delle basi di fare cambiare di colore ad alcuni coloranti vegetali quale il tornasole: dal blu al rosso gli acidi, dal rosso al blu le basi.

Queste proprietà assieme alla capacità degli acidi e delle basi di neutralizzarsi a vicenda formando sali, facevano pensare che gli acidi e le basi presentassero in un certo senso proprietà opposte (J. R. Glauber 1648).

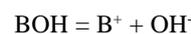
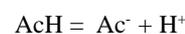
Allora mancavano le conoscenze necessarie a spiegare le proprietà delle due sostanze in base alle caratteristiche delle particelle costituenti, tuttavia qualche tentativo fu fatto. Boyle ad esempio, con un "ingenuo" trasferimento delle proprietà macroscopiche a livello microscopico, spiegava la natura pungente degli acidi con la forma a punta delle particelle e le caratteristiche basiche con la forma tonda delle particelle; la neutralizzazione veniva spiegata col fatto che le particelle a punta degli acidi si conficcavano nelle particelle tonde delle basi!

<sup>3</sup> La teoria di Lowry e Brønsted viene già correntemente utilizzata nel testo di Chimica Analitica di F. P. Treadwell che nel 1947 era alla sua undicesima edizione!

Lavoisier nel 1777 sostenne che l'ossigeno era il principio generale dell'acidificazione, in quanto i non metalli combinandosi con l'ossigeno acquisivano carattere acido. Questa sua teoria era di straordinaria modernità in quanto anticipava ad esempio conoscenze non solo relative alla composizione chimica degli acidi e delle basi, ma anche relative alle reazioni acido-base di tipo non protonico tra anidridi e ossidi, questa sua teoria tuttavia non fu sviluppata, forse a causa degli studi di H. Davy sull'acido muriatico (HCl), sostanza a carattere acido nella cui composizione però era assente l'ossigeno.

Più avanzate e decisive furono le ipotesi di J. von Liebig esposte nel 1838; egli ipotizzò che gli acidi contenessero nella loro molecola almeno un atomo di idrogeno sostituibile, stabilendo così un secondo principio di acidificazione.

Quaranta anni dopo S. Arrhenius con la sua teoria sulla dissociazione ionica, appoggiata con grande convinzione anche da W. Ostwald, aprì la strada ad interpretazioni più moderne relative alla natura degli acidi e delle basi. Egli sostenne che dissociandosi gli acidi liberavano H<sup>+</sup> e le basi OH<sup>-</sup> e che queste due specie reagivano tra loro formando acqua secondo i seguenti schemi:



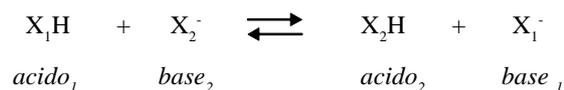
Arrhenius inoltre ipotizzò che gli acidi e le basi deboli fossero dissociati solo in parte; questa ipotesi portò all'applicazione della legge d'azione di massa a queste categorie di sostanze. La teoria di Arrhenius risulta tuttora utilizzabile per una trattazione elementare dell'argomento.

Sørensen nel 1909, mentre studiava l'azione degli acidi sulla catalisi enzimatica, dovendo esprimere con numeri semplici il grado di acidità di una soluzione diluita, propose l'uso del  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$  ossia la concentrazione idrogenionica espressa in scala logaritmica. Questo modo di esprimere le quantità in seguito è stato utilmente esteso ad altre grandezze quali  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $K_w$ ,  $[\text{OH}^-]$  ecc..

Nel 1923, contemporaneamente ma in due comunicazioni distinte, T. M. Lowry e J. N. Brønsted stabilirono che gli acidi sono un donatori di protoni, mentre le basi sono accettori di protoni.

In realtà tra quanto esposto rispettivamente da Brønsted e da Lowry esistono sensibili differenze ma i due punti di vista complessivamente sono complementari.

Lowry ad esempio non afferrò nella sua completezza la relazione tra acidi e basi espressa da Brønsted secondo lo schema:



dove i pedici 1 e 2 stanno ad indicare le coppie di acido e di base coniugate. Le basi non devono necessariamente essere ioni negativi, mentre è necessario che dispongano di un doppietto elettronico libero, capace di legare il protone.

Da parte sua Lowry ipotizzò, ad esempio, la natura dello ione ossonio<sup>4</sup> in soluzione acquosa, la cui esistenza fu in

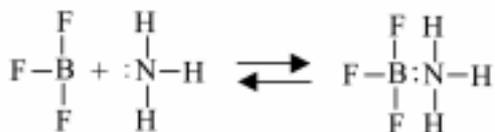
<sup>4</sup> È lo ione  $\text{H}_3\text{O}^+$  designato nelle vecchie denominazioni *ione idronio* o anche *idrossonio*.

seguito sperimentalmente confermata (in fase gassosa) mediante la spettrometria di massa.

Si può notare che la definizione di acido, come sostanza capace di donare protoni, è tutto sommato abbastanza vicina a quella di Arrhenius mentre la definizione di base, come sostanza capace di legarsi ad un protone, ha un carattere più generale.

Nella teoria di G. Lewis, avanzata successivamente nel 1932, vengono definite basi le sostanze le cui molecole dispongono di un doppietto elettronico libero, di conseguenza le basi secondo Lewis coincidono con le basi secondo Lowry e Brønsted. Viceversa viene modificata e soprattutto generalizzata la definizione di acido.

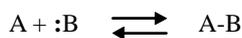
La definizione di acido comprende ora tutte le sostanze elettrofile che, in virtù di gusci elettronici esterni incompleti, sono in grado di formare un legame (dativo) con il doppietto elettronico libero di un'altra molecola. Riassumendo gli acidi sono accettori di elettroni mentre le basi sono dei donatori di elettroni. Quindi la reazione:



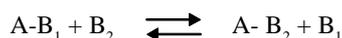
è una reazione acido-base secondo Lewis, ma lo è anche la reazione:



La reazione tra trifluoruro di boro e ammoniaca segue lo schema:



mentre la reazione di neutralizzazione segue lo schema:



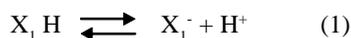
La teoria di Lewis definisce quindi delle reazioni acido-base non protoniche e trova ampia applicazione nella chimica dei composti di coordinazione.

Infine classifichiamo come reazioni acido-base tutte le reazioni che portano alla formazione di sali [9] allora rientrano in questa categoria anche le reazioni tra ossidi e anidridi in assenza di acqua del tipo:



### La teoria sugli acidi e sulle basi di Lowry e Brønsted

La definizione di acido e di base che secondo Lowry e Brønsted in sostanza afferma che *un acido è un donatore di protoni ed una base è un accettore di protoni*, ma afferma altresì che *un acido ( $X_1\text{H}$ ) privandosi del suo protone si trasforma nella sua base coniugata ( $X_1^-$ )* secondo lo schema:



L'equilibrio (1), se letto da sinistra a destra, ci mostra il comportamento di un acido, se letto da destra a sinistra il comportamento di una base secondo Lowry e Brønsted. L'equilibrio acido-base ci fa anche comprendere che *se un acido è forte, e quindi l'equilibrio è spostato a destra, la base coniugata non può essere che debole*.

Altra conseguenza di questa visione è che, essendo il protone troppo reattivo per esistere allo stato libero in soluzione, l'equilibrio (1) è di fatto virtuale in quanto il protone richiede la presenza di base che lo "accolga"; quindi l'equilibrio (1) per avere luogo richiede la presenza dell'equilibrio (2):



Sommando membro a membro (1) e (2), si ottiene l'equilibrio complessivo:



In sostanza (1) e (2) sono delle semireazioni dove il protone si comporta in modo analogo all'elettrone nelle semireazioni di ossidoriduzione.

Le basi che compaiono nella (3) non sono necessariamente degli ioni negativi, possono essere molecole neutre purché dispongano di un doppietto libero. Allora lo schema (3) si scrive:



Vediamo due esempi attinenti ai due schemi.

La reazione di salificazione dell'acido acetico viene letta come una reazione acido-base:



la reazione inversa, corrispondente all'idrolisi di un acetato, è ancora da considerarsi una reazione acido-base ma in questo caso la funzione di acido è svolta dall'acqua.

Nella reazione di dissociazione dell'acido acetico:

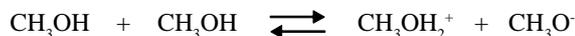


l'acqua funge da base.

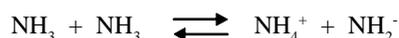
L'acqua per questo suo comportamento ambivalente viene definita *anfotita* o anche *solvente anfiprotico*. Il comportamento anfiprotico è messo particolarmente in evidenza nella reazione di dissociazione dell'acqua stessa, detta anche *reazione di autoprotolisi*:



Vediamo altri esempi di solventi capaci di dare comportamenti anfotiti e quindi reazioni di autoprotolisi. Il metanolo:



L'ammoniaca liquida:



L'acido acetico puro (glaciale):

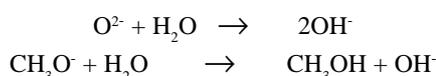


In definitiva la teoria di Lowry e Brønsted si fonda sul trasferimento di un protone da una specie all'altra. La condizione necessaria, affinché uno ione, una molecola o una molecola-ione funga da base, è che sia presente un doppietto elettronico capace di legare il protone.

Come si può facilmente dedurre dall'equazione (3), la forza di un acido e quindi la sua tendenza a cedere un protone, non dipende solamente dalla sua natura chimica, ma anche dalla natura e quindi dalla forza con cui la base, non coniugata, presente lega il protone.

In soluzione acquosa ad esempio i due acidi HCl e HClO<sub>4</sub>, nonostante che in assoluto abbiano forza differente, si dissociano ambedue completamente: in sostanza *a causa della forza basica dell'acqua le differenze tra i due acidi non vengono evidenziate* o, come si suole dire, *vengono livellate*. Questo *effetto di livellamento* può essere facilmente provato se uso come solvente (e quindi come base) l'acido acetico puro (acido acetico glaciale): sia l'acido perclorico che l'acido cloridrico disciolti in acido acetico puro si comportano da acidi deboli, ambedue sono parzialmente dissociati ma l'acido perclorico risulta più dissociato cioè più forte dell'acido cloridrico.

Considerazioni analoghe si possono fare per le basi, ad esempio le basi O<sup>2-</sup> e CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup> reagiscono ambedue in modo quantitativo con l'acqua secondo le reazioni:



ed apparentemente hanno la stessa forza, ma se opero in ammoniaca liquida, trovo che O<sup>2-</sup> è una base più forte di CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup>.

### Il pH delle soluzioni

Per il calcolo del pH di una soluzione di un acido forte, monoprotico si usa l'espressione:

$$\text{pH} = -\log c \quad (4)$$

dove  $c$  è la concentrazione analitica dell'acido o se si preferisce la concentrazione idrogenionica espressa in mol L<sup>-1</sup>. Nel fare ciò dobbiamo essere consapevoli di introdurre alcune approssimazioni.

L'espressione (4) è sufficientemente corretta<sup>5</sup> solamente per soluzioni di acidi molto diluiti (1 < pH < 3) e per soluzioni di basi molto diluite (9 < pH < 11). Nel caso di soluzioni concentrate per avere dati esatti la (4) dovrebbe essere sostituita dalla seguente:

$$\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$$

dove  $a_{\text{H}^+}$  indica l'*attività dello ione ossonio* che dipende da numerosi fattori, fra i quali la *forza ionica* della soluzione. Anche il calcolo del pH in soluzioni estremamente diluite di acidi non può essere condotto semplicemente sulla base della equazione (4). Se così fosse avremmo che una soluzione di HCl 10<sup>-7</sup> mol L<sup>-1</sup> a 24°C avrebbe un pH = 7 corrispondente

<sup>5</sup> A 24°C per soluzioni acquose di HCl 0,1M il pH=1,10, per HCl 0,01M il pH=2,044 e per HCl 0,001M il pH=3,015.

alla neutralità, cosa palesemente assurda.

Limitiamoci per ora ad osservare che per eseguire correttamente il calcolo in questo caso è necessario prendere in considerazione anche la concentrazione degli ioni ossonio provenienti dalla dissociazione dell'acqua, concentrazione sempre presente ma di norma trascurabile. Il risultato del calcolo, che non stiamo a sviluppare, è pH = 6,79 cioè un pH lievissimamente acido sempre operando a 24°C.

### Gli indicatori

Un argomento connesso con il precedente è quello degli indicatori, sostanze che con il loro cambiamento di colore ci indicano un intervallo entro il quale cade il valore di pH della nostra soluzione.

Dal momento che gli insegnanti puntualmente, e giustamente, descrivono e suggeriscono l'uso degli indicatori in esercitazioni di vario tipo, è opportuno rivedere alcuni aspetti del loro funzionamento.

Senza scendere nei dettagli della loro struttura molecolare che è di norma complessa, si deve tenere presente che un indicatore in soluzione dà luogo ad uno dei seguenti equilibri:



Le due specie HIn e In<sup>-</sup> sono rispettivamente responsabili dei due colori che la soluzione assume quando l'equilibrio si sposta a destra o a sinistra. Quando le due specie hanno la stessa concentrazione, si ottiene il colore intermedio corrispondente al viraggio o *punto di viraggio*. Il pH di viraggio si calcola a partire da:

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} = K_{\text{In}}$$

si ricava

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} K_{\text{In}}$$

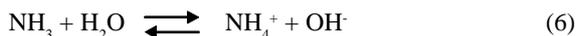
Al punto di viraggio abbiamo che [HIn] = [In<sup>-</sup>] per cui la soluzione avrà un pH = -log K<sub>In</sub>. La valutazione per osservazione del colore della soluzione permette di dire se il pH della soluzione è inferiore, coincidente o superiore al punto di viraggio: in pratica si suddivide l'intervallo tra pH = 0 e pH = 14 in due intervalli.

Alcuni indicatori per la loro particolare struttura molecolare presentano due punti di viraggio e quindi l'intervallo di pH può essere diviso in tre settori. Analoghi risultati si possono ottenere con miscele di indicatori; in particolare mediante l'indicatore universale, costituito da una miscela di indicatori, è possibile suddividere la scala da pH = 1 a pH = 11 in undici intervalli: si ottiene così una migliore determinazione del pH. Misure più precise si ottengono per via spettrofotometrica o per via potenziometrica.

### Le soluzioni tampone.

Queste soluzioni acquose, formate da un acido debole e della sua base coniugata ovvero da una base debole e dal suo acido coniugato, funzionano sulla base dei rispettivi equilibri di dissociazione; vediamo due esempi:





a concentrazioni adeguate sia dell'acido che della sua base coniugata (normalmente hanno ambedue la stessa concentrazione) mantengono praticamente costante il pH quando vengono aggiunte moderate quantità di un acido forte o di una base forte: una moderata aggiunta di  $\text{H}_3\text{O}^+$  viene convertita, nel caso del tampone (5), in  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ed una aggiunta moderata di  $\text{OH}^-$  viene convertita in  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , in modo equivalente reagisce il tampone (6).

I tamponi sono molto utilizzati in procedimenti sperimentali, specialmente nelle ricerche biochimiche.

Il calcolo esatto del pH a partire dalla concentrazione dell'acido debole ( $C_{\text{AH}}$ ) e della sua base ( $C_{\text{B}}$ ) è complesso e comporta la risoluzione di un sistema di cinque equazioni a cinque incognite. La soluzione approssimata (equazione di Henderson); nel caso del tampone (5) è la seguente:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \cdot (C_{\text{AH}} / C_{\text{B}})$$

per cui:

$$\text{pH} = -\log K_a - \log C_{\text{AH}} + \log C_{\text{B}}$$

Più complesso è il calcolo per soluzioni diluite. La quantità di acido o di base forte che si deve aggiungere ad un tampone per ottenere una variazione prestabilita di pH ci dà una misura del *potere tamponante* della nostra soluzione.

## 5. Prerequisiti

I prerequisiti necessari al discente sull'argomento "acidi e basi", secondo quanto verrà in seguito programmato, devono essere i seguenti:

- > conoscenza elementare o di senso comune dei concetti di sostanza acida, sostanza basica e sostanza neutra
- > informazioni sulla struttura delle molecole e delle molecole-ione;
- > concetto di concentrazione;
- > concetto di mole;
- > definizione e applicazioni dell'equilibrio chimico;
- > teoria di Arrhenius sulla dissociazione degli elettroliti in soluzione acquosa;
- > equilibri ionici.

Modifiche nella programmazione possono richiedere un aggiornamento dei prerequisiti.

Naturalmente il lavoro sui prerequisiti non si esaurisce nella loro elencazione, ma richiede il loro accertamento e se necessari interventi di recupero.

Tuttavia l'aspetto più problematico dei prerequisiti è dovuto ad una preparazione eccessivamente disomogenea degli studenti; se questa disomogeneità è marcata e non viene in qualche maniera ridotta, è probabile che alla fine del nuovo argomento il divario risulterà accentuato; in questo modo di argomento in argomento, quanto più la programmazione è precisa e i collegamenti tra i vari concetti sono forti tanto più il divario tra gli alunni può aumentare.

In alcuni casi, se l'insegnante è poco attento a questo aspetto, si può arrivare ad una vera divisione della classe in un gruppo di testa ed un gruppo di coda. Per rilevare questa situazione critica è sufficiente la somministrazione di un questionario confezionato con cura: si otterrà una curva bimodale (Fig. 3).

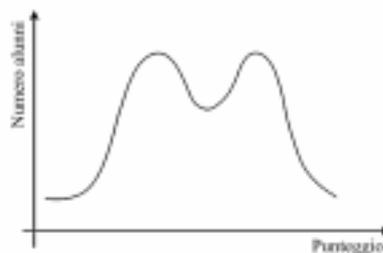


Fig. 3

## 6. Alcune

Sono stati programmati alcuni programmi di programmazione avanti di affrontare, nella seconda parte, gli aspetti riguardanti la strutturazione ed l'organizzazione dei contenuti relativi al tema "acidi e basi".

Molto spesso i manuali sulla programmazione ci dicono come questa si deve presentare a regime, ma non dicono molto sulle dinamiche che vengono messe in moto quando inizia a programmare un intervento didattico.

Non vengono di norma fatte sufficienti distinzioni sulla natura dei materiali che vengono utilizzati per programmare; in questo senso è stata introdotta la distinzione tra disciplina e materia di insegnamento, nel senso che *la seconda non si limita ad essere un "riassunto" della prima*, ma è una cosa diversa sia nella struttura logica che nelle modalità espressive.

Non è ininfluente da quale aspetto curricolare si parte per programmare, anche se la programmazione è un processo autostrutturante, che in un certo senso si chiude su se stesso alla ricerca di un punto di equilibrio, la configurazione complessiva varierà a seconda dell'elemento di partenza. Per un insegnamento a livello di triennio della scuola secondaria superiore si sceglie di partire dai contenuti disciplinari.

Si consiglia infine di evitare delle discontinuità logiche nel processo di trasmissione che a partire dai contenuti della disciplina, si conclude con l'assimilazione e l'adattamento cognitivo da parte del discente. A questo fine si sottolinea l'importanza dell'autoaggiornamento da parte del docente e della verifica dei prerequisiti.

## Bibliografia

- [1] A. Nicholls, H. Nicholls, *Guida pratica all'elaborazione di un curriculum*, Feltrinelli, Milano, 1976.
- [2] E. Niccoli, *CnS - La chimica nella scuola*, 2003, **25**,43.
- [3] E. Niccoli, *CnS - La chimica nella scuola*, 2000, **22**,117.
- [4] V. Balzani, A. Credi, M. Venturi, *La Chimica e l'Industria*, 2003, **85**, 61.
- [5] J. I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico*, Mondadori, Milano, 1976.
- [6] J. W. Nicholson, *Education in Chemistry*, 2004, **41**, 18.
- [7] B. Caccetta, G. Gallo, A. Regis, D. Vione, E. Roletto, *CnS - La chimica nella scuola*, 2003, **25**,81.
- [8] P. Chiorboli, *Fondamenti di Chimica*, UTET, Torino, 1975
- [9] B. Douglas, D. H. McDaniel, J. J. Alexander, *Concepts and Models of Inorganic Chemistry*, John Wiley & Sons, New York, 1976.
- [10] J. N. Butler, *Equilibri Ionici*, Società Editrice Universo, Roma, 1969.
- [11] E. Niccoli, *CnS - La chimica nella scuola*, 2003, **25**,108.
- [12] D. A. Skoog, D. M. West, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, Holt, Rinehart & Winston, Toronto, 1973.

# Raccontare le esperienze di laboratorio: una riflessione sulla metodologia delle cinque fasi

ELEONORA AQUILINI (\*)

*“Noi siamo le nostre storie, i racconti di quello che ci è successo. Ma non sono solo i ricordi a sostenere il nostro senso di essere persone. Il passato è troppo sfaccettato e pieno di dettagli. Per avere un sé abbiamo bisogno di un protagonista, di qualcuno che fa le cose e a cui le cose accadono.. Il passato deve essere organizzato in una narrativa, o in più narrative alternative. Senza storie non esiste alcun sé.” (1)*

(S. Mitchell)

Nella metodologia delle cinque fasi proposta da Carlo Fiorentini (2) per lavorare sui percorsi di scienze nella scuola elementare e media che portano a definizioni operative (3), si cerca di organizzare l'esperienza degli alunni in modo da giungere ad un significato condiviso, con l'uso della narrazione critica delle attività svolte.

La prima fase è quella dell'esecuzione dell'esperimento. Non è necessario che venga eseguito direttamente dai bambini, infatti non sempre è possibile farlo, per problemi di strumentazione o perché la classe è numerosa e il controllo dei bambini è faticoso.

La seconda fase è quella della verbalizzazione scritta individuale. Qui inizia la riflessione sull'esperienza: si descrive, si individuano somiglianze e differenze, si inizia a stabilire quella rete di connessioni che permetterà poi di giungere alla consapevolezza delle relazioni che caratterizzano un fenomeno. È fondamentale in questa fase che si scriva per mettere ordine nei pensieri, per passare da percezioni e considerazioni soggettive ad un primo tentativo di oggettivazione; non importa quindi che si scriva bene dal punto di vista formale. Le considerazioni in questi scritti sono molto vicini al senso comune, le espressioni sono spesso dialettali e “familiari”, ma l'importante è che si colgano gli aspetti significativi del fenomeno descritto. Si mette ordine anche individuando le sequenze temporali dell'evento che si sta studiando.

La terza fase è quella della discussione collettiva. È la fase del confronto fra pari e con l'insegnante che fa in modo di indirizzare la discussione verso una elaborazione significativa delle osservazioni fatte. Ognuno qui confronta le proprie convinzioni, il suo modo di vedere le cose, e alla fine è auspicabile che sia disposto a riconsiderarle tenendo conto di quelle degli altri.

La quarta fase è quindi quella dell'affinamento della conoscenza che si traduce nella revisione della parte scritta: si corregge, si rivedono le proprie posizioni riscrivendo le frasi in modo aderente alle nuove acquisizioni.

La quinta fase è stata introdotta perché non tutti i bambini riescono a fare una sintesi scritta chiara dal punto di vista del contenuto e con un linguaggio corretto. Allora l'insegnante alla fine dell'attività che porta ad una conclusione condivisa, utilizzando tutto il materiale prodotto fa una sin-

tesi scritta che viene fotocopiata e incollata sul quaderno; in questo modo tutti i bambini hanno la definizione conquistata in modo operativo in una forma linguisticamente corretta.

Questa fase tiene conto del fatto che una metodologia di tipo costruttivista, ha comunque il limite delle differenze individuali. Non ci sono ricette infallibili per costruire la conoscenza.

In una classe ci sono bambini che riportano sul quaderno produzioni scritte corrette dal punto di vista del contenuto e della forma, e bambini che scrivono frasi interpretabili in molti modi; per questo motivo è bene che le conclusioni siano fissate in modo univoco per tutti.

La metodologia delle cinque fasi richiede comunque una ricorsività continua e non deve essere interpretata come uno schematismo che chiude l'insegnamento entro limiti angusti. Con questa ci si pone l'obiettivo di arrivare ad un concetto attraverso uno studio dei fenomeni che comporti l'acquisizione di significati. La procedura per arrivare a questo scopo mette in atto le rappresentazioni mentali: attiva, iconica e simbolica di cui parla Bruner (4). Alla rappresentazione di tipo simbolico verbale ed in particolare al linguaggio scritto, si attribuisce una particolare valenza formativa. Tuttavia siamo consapevoli che non ci sono ricette infallibili per costruire la conoscenza.

Ogni alunno presenta la sua individualità che deriva dal suo passato, dal suo presente, dalle caratteristiche della sua personalità e l'interazione con questo tipo d'insegnamento può essere più o meno positiva.

Condividiamo quanto scritto da Mitchell: “Il modello della mente che io preferisco si basa sul paragone dei processi mentali con attività umane quali la costruzione di una casa o di una scultura. I critici di questi modelli costruttivisti sostengono che tali modelli non riconoscono il ruolo della struttura fisica e il potere del passato, e che glorificano una sorta di onnipotenza sartriana: se costruiscono la mia mente senza esserne determinato, ciò non implica forse che io possa farlo come mi pare? Queste critiche possono essere affrontate se ci addentriamo ulteriormente nella metafora della costruzione.....I materiali impiegati si prestano a possibilità molto diverse, e ognuno impone vincoli molto particolari. Le case pur non essendo determinate dai materiali, sono vincolate dalle loro caratteristiche. Allo stesso modo, il marmo usato da Michelangelo per scolpire il *David* non ha de-

(\*) Vicepresidente Nazionale della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana (DDC-SCI).

terminato la statua, ma di certo ha avuto un impatto tanto facilitante quanto limitante sul risultato. La statua sarebbe stata diversa se fosse stata fatta di terracotta, o di ferro, o di mattoncini Lego.....Allo stesso modo l'esperienza umana...è costruita usando molte dimensioni esperienziali, percezioni, ricordi, immaginazione, immagini culturali e mitologie disponibili, sensazioni corporee e così via, e tutti questi elementi operano come materiali psichici da costruzione. Ogni dimensione della nostra esperienza impone dei limiti alla gamma di quello che può essere costruito, ma nessuna di loro determina il risultato in modo causale e diretto." (4)

Per la nostra esperienza, tuttavia, questa metodologia, non disgiunta da contenuti adeguati all'età degli alunni è di gran lunga più efficace dei metodi usuali con cui vengono insegnate le scienze nel ciclo primario.

Le cinque fasi riguardano tutti i passaggi chiave dei percorsi pensati per la scuola elementare e media.

Propongo qui, dopo una riflessione sul lavoro da me fatto in prima superiore, l'introduzione di una sesta fase che sintetizzi il percorso fatto.

### 1. La descrizione dell'esperimento

Quello che ho notato da sempre è che per gli alunni la descrizione delle esperienze è facile, la maggior parte di loro si impegna e ci riesce. Sia che annotino le loro osservazioni sul quaderno sia che scrivano una relazione classica<sup>1</sup> di laboratorio questa è una fase che mediamente non crea problemi. Questo è vero sia per i ragazzi del biennio che per quelli del triennio.

Spesso, tuttavia, le descrizioni ricordano le cronache dei quotidiani locali che si sforzano di darsi un tono nazionale, senza passioni, (adeguamento all'idea di asettica neutralità della scienza?) non per la paura di scoprirsi emotivamente ma perché l'interesse è marginale o non c'è proprio.

Quando in prima superiore insegnando Scienza della Materia faccio riferimento ad alcuni percorsi (2) ipotizzati per la scuola di base<sup>2</sup> non chiedo ai ragazzi che seguano lo schema usuale ma che raccontino ciò che hanno osservato, che traggano le loro personali conclusioni tenendo conto della discussione in classe. È su quello che hanno scritto che poi si discute nuovamente. Io ritiro queste relazioni, le leggo, faccio delle annotazioni, c'è una nuova discussione collettiva e loro riscrivono le conclusioni "condivise".

Nei "nostri" percorsi le descrizioni sono più vivaci, perché:

- 1) non essendo richiesto da subito l'uso di un linguaggio scientifico (di fatto "artificiale" per gli alunni di una prima classe), le espressioni sono quelle di uso quotidiano;
- 2) si riportano sul quaderno oltre alla descrizione dei fenomeni le dinamiche della discussione (...Marco ha fatto la seguente ipotesi ..., invece Sara ha ipotizzato che...allora abbiamo verificato che aveva ragione Marco);
- 3) c'è spesso la piena partecipazione di chi scrive (ricordo con tenerezza che Veronica aveva notato l'odore delle bolle nell'ebollizione... ).

È rotto lo schema usuale della relazione e il guadagno in efficacia in questo tipo di verbalizzazione scritta per l'apprendimento è certo. Le relazioni fatte nel modo usuale io

<sup>1</sup> Negli Istituti Tecnici la relazione di laboratorio segue lo schema: strumenti e materiali usati, descrizione dell'esperimento, elaborazione dei dati e conclusioni.

<sup>2</sup> Tutti gli anni dedico il primo quadrimestre ad argomenti di Scienze che dovrebbero essere acquisiti nella scuola media inferiore e che invece vengono totalmente ignorati dagli alunni.

credo che servano solo ad abituare gli alunni ad un certo ordine esteriore, raramente rispecchiano comprensione e consapevolezza degli apprendimenti. Secondo quello che dicono gli insegnanti di laboratorio, imparare a fare la relazione (scialba) di oggi dovrebbe servire a saper fare, domani, le relazioni tecniche che i futuri periti dovranno svolgere. Mi viene da pensare con sgomento che in queste asserzioni ci sia un'implicita associazione fra queste relazioni noiosissime e il futuro lavorativo di ragionieri e periti che si prevede piatto ed emotivamente non coinvolgente. Lo stato d'animo del ragazzo di quindici anni che scrive per imparare e per capire non è quello di chi ha già capito e nella relazione tecnica sintetizza il suo lavoro. In quest'ultimo caso linguaggio e schema sono accessori alla sostanza del lavoro, per gli alunni invece fare la relazione dovrebbe essere il cuore del problema. E quindi la relazione *deve* avere un cuore. Se questi ragazzi hanno come imposizione esterna la riduzione all'essenziale che può fare un adulto, automaticamente bloccano nell'esposizione tutte le spiegazioni di senso comune che si danno, fingono un'acquisizione di significati con un linguaggio scientifico che è di fatto sovrimposto al proprio, non integrato tramite un'acquisizione lenta di significati.

Ho notato anche che per alunni di quindici anni è importante il disegno, non solo per i bambini più piccoli. Mi ricordo di un collega che non sopportava il disegno dell'acqua celeste a onde con le bolle bianche nella descrizione del fenomeno dell'ebollizione dell'acqua e diceva agli alunni che i disegni sono inutili; alcuni ci rimanevano veramente male e si capiva perfettamente che avevano passato il pomeriggio a cercare combinazioni di colore adatte per quell'acqua distillata color...acqua marina.. Mi chiedo: perché inibire questa forma di espressione? Mi sembra anche che in questi atteggiamenti di molti insegnanti ci sia, oltre che ad una grande superficialità e disattenzione didattica anche la solita idea che sia meglio cominciare a fare rinunce oggi, per sopportare il dolore e le privazioni di domani.

Io credo esattamente il contrario.

Preferisco di gran lunga in prima superiore adottare la metodologia delle cinque fasi con la "relazione" che contiene: descrizione, osservazione e conclusioni individuali intrecciate, come si propone nella scuola di base. Tuttavia anche nella metodologia delle cinque fasi ci sono problemi nella realizzazione completa ossia nel passaggio dalla percezione al concetto.

### 2. La riflessione collettiva orale e poi scritta dai singoli.

I problemi non sono tanto nella fase di discussione libera ma nella riflessione scritta dopo che si è discusso. C'è anche a livello di una prima superiore l'incapacità di tenere a mente più passaggi, di astrarre concetti semplici, di passare dalla percezione immediata alla percezione mediata, alla riflessione che è racconto di una percezione e che precede l'interpretazione di un fatto.

I problemi vengono tutte le volte che vengono scritte le conclusioni individuali e collettive nella quarta, nella quinta e in quella fase riassuntiva che chiameremo sesta fase. Oltre alla fase della "definizione condivisa e scritta sul quaderno" ce n'è un'altra che per alunni della scuola media superiore non è eliminabile, ed è quella della sintesi di tutto il percorso. Mi spiego: quando si arriva alla definizione "L'ebollizione è quella fase del riscaldamento in cui la superficie è agitata, ci sono grosse bolle, molto fumo e il volume è diminuito" per me siamo nella quinta fase (quando tutti i bambini scrivono sul quaderno questa frase condivisa da tutti e

per tutti uguale) e si sta lavorando su un frammento di percorso. Quando io chiedo di dire in base a quello che si è capito nelle varie parti del percorso: “Qual è la differenza fra evaporazione ed ebollizione?”, allora siamo ad un livello successivo di elaborazione che generalmente gli alunni non sanno fare autonomamente neanche in prima superiore. Questa è la sesta fase.

Prendendo l'esempio citato, quest'anno non ho cercato di ricapitolare insieme agli alunni i fatti salienti del percorso con domande del tipo:

-Quando abbiamo osservato (o capito) che c'è evaporazione?

-Nel riscaldamento dell'acqua c'è evaporazione? -Quando abbiamo messo il bicchiere con l'acqua del rubinetto sull'armadio, lontano dal termosifone c'è stata l'evaporazione? - Nell' ebollizione c'è stata evaporazione?-, per arrivare alla conclusione che l'evaporazione c'è sempre a tutte le temperature (in cui esiste la fase liquida- direbbe un adulto chimico) e l'ebollizione è un caso particolare.

Qui bisogna mettere insieme le conclusioni che si sono raggiunte ad ogni passo del percorso e poi focalizzare l'attenzione sugli effetti dell'aumento di temperatura.

È difficile. È difficile perché di temperatura in tutto il percorso se ne parla solo quando si va a misurare l'andamento di temperatura/tempo (si passa più tempo su aspetti qualitativi del tipo capire “Che cosa sono le bolle, il fumo, le acque minerali). Quando i becher sono sul termosifone si parla di caldo e freddo. Si parla esplicitamente di temperatura nella parte che si riferisce alla misura della temperatura di ebollizione dell'acqua distillata e del rubinetto.

Nel momento in cui mi aspetto una determinata risposta ipotizzo che l'alunno sposti l'attenzione dai casi particolari, prendendo come riferimento un parametro “esterno”, soltanto la temperatura, e su quello basino tutti i loro ragionamenti.. Nella sesta fase insomma, per tirare le fila, bisogna prendere un altro punto di riferimento, vedere le cose da un punto di vista che permette la visuale di tutto il percorso, ricapitolando le parti più importanti. Bisogna guardare i singoli passaggi in un altro modo. Questo è qualcosa di più di un riassunto, di un'astrazione “possibile”, è un atto creativo.

Questo è difficile da fare e poi consideriamo che per noi non è stato un atto creativo, lo abbiamo imparato sui libri e in tanti anni di esperienza.

La prova è fallita ma a ripensarci, è normale così.

### 3. Significato della riflessione dopo l'esperienza: *riflessione di o riflessione su?*

Qui vorrei esplicitare il significato della riflessione dopo l'esperienza andando a cercare una spiegazione che non escluda quella dell'oggettivazione di significati teorizzati dalla scuola di Vygotskij (5). Per quanto riguarda questo punto è importante la distinzione fra “senso” e “significato” secondo l'interpretazione della scuola sovietica, che si è sviluppata da Vygotskij.(6)

Il fatto (il fenomeno) ha un senso per l'individuo, rappresenta qualcosa per lui, a prescindere e comunque oltre il significato oggettivo che esso ha. Fatto e significato appartengono al mondo dei fenomeni oggettivi. In particolare il significato è tale in quanto **viene fissato nel linguaggio**. Il

senso “è un fatto psicologico” ed è in relazione a “se mi sono impadronito di un determinato significato, se l'ho o se non l'ho assimilato, e in quale misura l'ho assimilato, e cosa diventa per me, per la mia personalità...”

Il collegamento dei “sensi” ai “significati”, per la scuola di Vygotskij, non è un'operazione possibile in maniera totale ma lo è parzialmente, grazie all'insegnamento. L'individuo acquisisce con l'insegnamento i significati e in tal modo vengono modificati i “sensi.” L'insegnamento è inteso come “istruzione formale” che ha funzione di veicolare i contenuti collettivi. Affinché i significati interagiscano con la percezione del senso del fatto è importantissimo che i contenuti dell'insegnamento rispecchino conoscenze oggettive collegabili ai sensi, ossia alle esperienze e alle motivazioni personali. Quando cioè l'esperienza esterna non trova nessuna forma di riconoscimento nella conoscenza interiore, nelle strutture cognitive che si sono costituite precedentemente, allora la comunicazione verbale che si esercita nell'insegnamento si traduce in “vuoto conoscitivo”. Le parole, scisse dai contenuti concreti, diventano prive di significato.

Facendo riferimento a Vygostkij (7), inoltre, la fase della riflessione verbale orale e scritta è quella in cui attraverso il linguaggio c'è lentamente il passaggio dai concetti spontanei, di senso comune, ai concetti scientifici.

L'evoluzione del linguaggio individuale e di una lingua nel tempo, secondo Vygotskij, è accompagnata da un aumento di consapevolezza dei contenuti. Per Vygotskij, il bambino passa da espressioni verbali che identificano contenuti imprecisi e confusi, a parole che rappresentano concetti. Una parola-concetto è astratta; la parola sedia, ad esempio, non è nessuna sedia particolare, tuttavia ci permette di riconoscere *tutte* le sedie. Una parola, cioè, identifica un concetto quando essa costituisce la sintesi delle caratteristiche concrete diventando poi “astratta”. Tale sintesi astratta diventa allora lo strumento principale di pensiero. All'insegnamento dei concetti scientifici si dà una grande importanza perché permettono l'acquisizione di modalità di pensiero astratte. I concetti scientifici, formali, sono acquisibili tramite l'insegnamento per Vygotskij.<sup>1</sup>

Pensando a Bruner, e alla distinzione già citata fra i diversi tipi di rappresentazioni mentali, la fase della verbalizzazione orale e scritta è anche un passaggio da rappresentazioni mentali inconsapevoli, come quella “attiva”, a quella “simbolica”, i cui contenuti hanno un più elevato livello di *coscienza*. In pratica l'esperienza viene ripensata e narrata (8) in modi sempre più oggettivi: si discute, si parla e se ne riparla, si scrive e si riscrive fino a giungere ad un significato condiviso perché intimamente accettato come *effettivamente condivisibile*.

Pensando a Bruner, vorrei cercare di parlare dell'importanza che ha comunque la narrazione dell'esperienza.(6). Ogni alunno racconta l'esperienza di laboratorio in modo diverso. Ognuno la elabora mentalmente nel suo modo. Ogni alunno ha il suo mondo interiore e il suo linguaggio per comprendere e riferire.

In generale possiamo dire che le esperienze che facciamo in un certo senso partono da noi stessi ma devono potersi tradurre in un significato condiviso dagli altri perché non ci si senta diversi e scissi. Il mondo interno in altre parole ha bisogno di

<sup>1</sup> Vygotskij non fa una distinzione fra i diversi tipi di concetti scientifici e l'aver attribuito a tutti indistintamente la proprietà della presa di coscienza è, a nostro avviso, un po' azzardato. Sicuramente i concetti scientifici di tipo specialistico delle varie discipline non hanno le stesse caratteristiche dei concetti scientifici elementari. Un esempio di concetto scientifico elementare che riporta Vygotskij è il concetto di *fiore* che è una generalizzazione rispetto a *rosa*. Vygotskij non fa una gerarchia di complessità fra i concetti scientifici (i concetti di “fratello” e “patria” sono quindi sullo stesso livello).

essere “ricucito” con quello esterno in continuazione. La trama viene creata dalla *riflessione di* una certa esperienza nel racconto che ne facciamo: ce la raccontiamo e la raccontiamo agli altri (7). In tal modo ci collochiamo fuori e dentro di noi. Voglio dire che il racconto più che una riflessione *su* è una riflessione *di* quella esperienza. È come il nostro mondo interiore la riflette e quanto questa riflessione, che è la nostra interpretazione dei fatti, è vicina a quella degli altri che crea un “significato condiviso”. La condivisione è arricchimento *per ognuno* quando nella terza e quarta fase si discute collettivamente e poi si fanno proprie le considerazioni di tutti. Qui si passa da “*riflessioni di*” a “*riflessioni su*”. La quinta fase è una fase più povera di coinvolgimento emotivo ma è essenziale dal punto di vista dell’oggettivazione dei significati.

#### ***L’insegnante che ci sta a fare?***

La funzione di regista di cui ho già parlato credo debba comprendere quella di funzione di “contenimento” del dispiacere che si può provare quando viene fatto notare un errore d’interpretazione. Faccio qualche esempio:

Dopo il discioglimento del carbonato di calcio con l’acido cloridrico, nel percorso sugli acidi e sulle basi, Anna, una ragazza di prima superiore sempre coinvolta e appassionata nel lavoro che facciamo, ha scritto che le bolle dell’effervescenza erano dovute all’acido che evaporava come nell’ebollizione. Se si fosse ridicolizzato quanto da lei scritto si sarebbe sbagliato enormemente, primo perché aveva mostrato di avere fatto un collegamento con il precedente percorso sull’evaporazione, secondo perché una spiegazione di questo tipo l’aveva data anche Newton che sicuramente non era uno sciocco. Quando ad Anna ho detto che interpretando le cose in questo mondo era in buona compagnia, ha detto a chi le era accanto e rideva: “Hai visto...scema..sono come Newton”. Per Anna, sempre così attenta e piena di buona volontà, sarebbe stato deleterio abbattere la sua passione, anche considerando che la sua verbalizzazione scritta contiene spesso errori ortografici (è straniera) e quindi la correzione in questo senso è necessaria.

Sempre a questo punto del percorso Lucia ha scritto: l’acido ha “assorbito” il carbonato di calcio. Sicuramente dietro l’uso di questo verbo ci sta il suo mondo e il senso comune che s’intrecciano in un modo che non so sciogliere...decido di lasciare perdere e ritornare a quello che ha scritto Lucia dopo che si sarà provato che il liquido limpido e trasparente che si ottiene dopo il discioglimento del marmo, non contiene più marmo ma un’altra sostanza. L’effetto di “assorbimento” è il nome che ha dato a quello che ha visto della reazione chimica in atto.

Lucia è come Anna fra le più partecipi all’attività che facciamo in classe. L’altra mattina mentre stavo entrando a scuola mi è venuta incontro tenendo in mano due limoni e mi ha detto “Lei ha detto che oltre che con l’aceto possiamo provare a sciogliere il marmo con il limone. Ne ho portati due, anzi tre (ha tirato fuori dalla tasca il terzo), andiamo in laboratorio a provare?”. Per fortuna il laboratorio era libero e abbiamo provato. Funzionava anche il limone. Abbiamo così costruito la nostra scala di sostanze aggressive: acido cloridrico, acido acetico e ...acido del succo di limone!

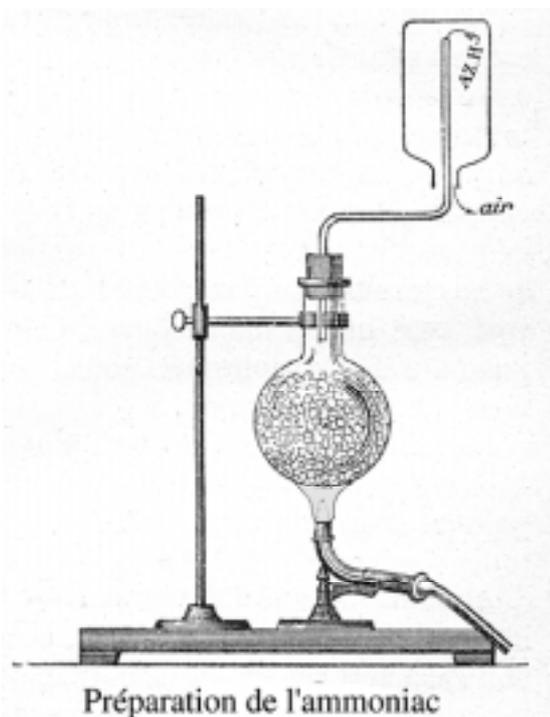
Avrebbe portato i limoni di sua iniziativa se io avessi messo in ridicolo il suo “assorbimento”?

#### **4. A volte succede che....**

È successo...non era mai successo così e....non ci speravo proprio. La peggiore della classe della prima peggiore a cui insegno quest’anno, ha fatto un compito scritto sugli acidi accoppiando descrizione e riflessione in un modo che mi ha lasciato senza parole.... interdetta...è fatto proprio bene! Non ha copiato perché aveva fatto bene anche la relazione a casa. Questa ragazza sembrava una fuori dal mondo e dalla classe....Non è neanche una che fa confusione, mi sembrava un pesce fuor d’acqua...una che stava lì a finire l’anno per poi abbandonare la scuola per sempre. L’ho vista zitta zitta, attenta attenta in queste ultime settimane... è scattata la molla? Aspettiamo in silenzio.

#### **Bibliografia**

- 1) S. Mitchell “L’amore può durare?”, Raffaello Cortina editore, Milano, 2004.,p. 107
- 2) C. Fiorentini “Quali condizioni per il rinnovamento del curriculum di scienze?” in L’arcipelago dei saperi (a cura di) Franco Cambi, Firenze, Le Monnier, 2000, p. 275-290.
- 3) L. Barsantini e C. Fiorentini (a cura di), *L’insegnamento delle scienze verso un curriculum verticale. I fenomeni chimico-fisici*, I.R.R.S.A.E Abruzzo, S. Gabriele (TE), Editoriale Eco srl, 2001. - G. Cortellini, Alfero Mazzoni (a cura di), *L’insegnamento delle scienze verso un curriculum verticale. I fenomeni biologici*, I.R.R.S.A.E Abruzzo, S. Gabriele (TE), Editoriale Eco srl, 2001.
- 4) S. Mitchell, ibidem, p. 151-152.
- 5) J. Bruner, *La cultura dell’educazione*, Feltrinelli, Milano, 1997.
- 6) P. Boscolo “*Psicologia dell’apprendimento scolastico*”, UTET, Torino, 1997.
- 7) A. Lorenzini, “*Il legame fra empatia e controtransfer: Kohut e alcuni orientamenti attuali*”, *Ricerca psicoanalitica*, 2004, XV, 2.



# Un'esperienza di attività d'orientamento

GIOVANNI CASAVECCHIA (\*)

All'inizio di quest'anno accademico 2003-2004 ho ricevuto un invito da parte dell'Università di Torino, Corso di Scienze Chimiche, ad organizzare uno dei laboratori per l'orientamento universitario. La proposta ha suscitato in me una serie di interrogativi che, ancor oggi, non mi si sono del tutto chiariti. Ho comunque accettato l'incarico, ho pensato alle ricerche che avevo in corso e ne è venuto fuori il titolo del laboratorio, "Dal Macro al Micro: Come Interagire con le Molecole"; ho quindi cercato di capire meglio che cosa si intende per "orientamento scolastico", quell'insieme, cioè, di iniziative volte a favorire una scelta ragionata degli studi da seguire e della professione da intraprendere. Google ha evidenziato un numero elevato di accessi sotto il titolo "orientamento scolastico", alcuni dei quali molto interessanti. Un articolo di Gabriele Anzellotti, ad esempio, definisce così l'orientamento scolastico: "Con la parola orientamento si intende comunemente una attività di informazione rivolta agli studenti nei momenti in cui essi si trovano a fare scelte relative al proprio futuro scolastico e di lavoro. L'orientamento alla scelta universitaria è uno di questi momenti [...] L'orientamento costituisce una dimensione permanente del processo educativo, che accompagna l'individuo in tutto il percorso scolastico, ed anche fuori di esso. Ne consegue che l'orientamento deve essere una attività ordinaria e curriculare, ed è una responsabilità istituzionale, sia della scuola sia dell'università, ciascuna per i propri studenti." [1].

Da più fonti si delinea questo nuovo approccio, che non si fonda più sulla pura informazione fornita a tantum e sull'individuazione delle attitudini che il soggetto deve avere o dimostrare di avere, bensì su un processo dialettico e continuo di acquisizione di competenze, conoscenze e sulla formazione della personalità e delle attitudini: "L'orientamento è un processo continuo, personale e autonomo, di maturazione e di educazione che porta l'individuo a porsi continuamente dei problemi di scelta, senza tuttavia mai scegliere definitivamente, ma progressivamente, sì da acquistare [la] capacità di orientarsi da solo di fronte alle mutevoli esigenze di natura professionale e sociale" [2]. La traiettoria descritta dovrebbe portare ad una forte autonomia del protagonista dell'orientamento, fino a giungere alla possibilità concreta di autorientamento. In quest'ottica nel gennaio 2001, ai sensi della Dir. 210/99, è stata istituita dalla Regione Piemonte, l'Unità Territoriale di Servizi Professionali per l'Orientamento (UTS) [3], che si qualifica come centro di risorse per il personale della scuola e che integra competenze differenziate allo scopo di sostenere culturalmente e operativamente la posizione strategica dell'orientamento

nell'ambito delle autonomie. Il servizio è dotato di un sito internet, dal quale è possibile reperire molte informazioni, dai riferimenti normativi ai materiali. A tal proposito, alla voce "progetti e novità" è possibile trovare e scaricare due documenti piuttosto significativi: il progetto PONTESCIENZA e il progetto ELITES (Elevata Istruzione Tecnico-Scientifica). Sono testi che, seppur con finalità e obiettivi diversi, cercano di favorire un raccordo tra le Scuole Medie Superiori e l'Università.

In questo contesto molti corsi di laurea hanno da tempo organizzato incontri con ragazzi del triennio delle superiori. La relazione istituzionale che si è creata ha permesso agli studenti di: "aprirsi verso il mondo esterno, della ricerca, delle applicazioni, dei contesti extrascolastici sia tecnologici che organizzativi in cui [essi] verranno a trovarsi; inoltre ha favorito il contatto diretto con figure e ambienti diversi da quelli del mondo della scuola, come centri di ricerca o associazioni professionali, attraverso conferenze, visite, stages." [4]

Con un'idea più chiara di ciò che ci si attendeva da me, il compito di proporre un'attività che potesse rispettare il quadro teorico appena accennato mi appariva tutt'altro che semplice. Le indicazioni di massima erano di 3/4 incontri di 2 o 3 ore ciascuno. Con poco tempo a disposizione appariva arduo affrontare un tema così pregnante dal punto di vista disciplinare come quello da me proposto, "Dal Macro al Micro: come interagire con le Molecole", riuscendo a calibrare le attività di laboratorio nel rispetto dell'obiettivo "autorientamento progressivo". Il progetto prevedeva di consentire ai singoli studenti un viaggio attraverso le strutture tridimensionali dei sistemi molecolari, in modo che i ragazzi potessero visualizzare gli aspetti microscopici che caratterizzano i fenomeni del mondo macroscopico. L'indagine sarebbe avvenuta attraverso l'uso di software di modellistica molecolare (RasMol, ACD/ChemSketch, Moldraw), che ci avrebbero permesso di passare dalla visualizzazione/costruzione di molecole relativamente semplici (ossidi, alcani, alcheni) all'elaborazione di strutture decisamente più complesse (RNA, DNA, peptidi, acidi nucleici). Tutti gli incontri sarebbero stati caratterizzati da due fasi: la prima, di alfabetizzazione all'uso dei software per la ricerca in rete e di visualizzazione dei file di "grafica molecolare"; la seconda, di interazione e studio di uno o più sistemi molecolari. Nella fase di attuazione, la struttura di base del progetto è stata rispettata, ma sono riuscito a introdurre ed utilizzare un solo programma. Presentare agli studenti ed ai loro docenti tre software, avrebbe significato passare le due ore dell'esperienza ad acquisire una serie di comandi importanti per la gestione dell'applicativo. Dei software selezionati, la scelta è caduta su RasMol [5], un programma duttile, sufficientemente flessibile e adattabile a molte realtà scolastiche con esigenze didattiche diverse. Cosa non trascurabile, tutti i programmi citati, nonché quello utilizzato durante l'intervento, sono freeware. (con freeware si intende: software che può essere distribuito gratuitamente, cambiato e adattato alle proprie esigenze).

(\*) Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata, Università di Torino - e-mail: [giovanni.casavecchia@unito.it](mailto:giovanni.casavecchia@unito.it)

### Come sono avvenuti gli incontri

Prima di iniziare l'esperienza vera e propria, ho somministrato un questionario [6], formulato da L. Cerruti e da F. Turco, per monitorare le attitudini dei singoli all'utilizzo della rete e per verificare le conoscenze e le competenze di informatica. Inoltre, ho cercato di fornire un inquadramento storico della modellistica molecolare e di chiarire il ruolo che ha assunto la chimica computazionale negli ultimi anni: *"Il nome designa piuttosto bene una particolare pratica conoscitiva, singolare per aver tratti caratteristici degli esperimenti di laboratorio e - nel contempo - per essere condotta esclusivamente mediante l'elaborazione di programmi e l'uso di calcolatori"* [7]. Questa breve introduzione ha preceduto l'esperienza diretta dei ragazzi di ricerca in rete del software e della sua successiva installazione. Ai ragazzi ho chiesto di prelevare la versione Berkeley-enhanced RasMol-2.6-ucb-beta per Windows: versione a volte instabile, in quanto ancora in fase di sviluppo, ma decisamente più accattivante e completa. Per iniziare a lavorare con RasMol è necessario selezionare i file opportuni: **.pdb** o **.xyz**. Il formato **.pdb** è reperibile direttamente dalle Banche Dati Biologiche, una delle quali è la **Protein Data Bank**, accessibile all'indirizzo <http://www.rcsb.org/pdb/searchlite>, mentre il secondo formato è scaricabile direttamente dalla rete utilizzando i motori di ricerca. Entrambi danno la rappresentazione tridimensionale della molecola. Abbiamo quindi trovato e scaricato i dati per il diamante, la grafite e le quattro basi azotate costituenti del DNA. Gli studenti hanno poi richiamato i file della grafite e del diamante e visto chiaramente le differenze esistenti tra le due strutture, evidenziando le disposizioni geometriche e le dimensioni delle celle. Quest'ultima operazione implica l'utilizzo di una seconda finestra di dialogo, la RasMol Molecules, che ci permette di calcolare le distanze e gli angoli di legame. Queste operazioni sono relativamente semplici e implicano l'uso del Menù Principale, caratterizzato dalle voci: **File, Edit, Display, Colours, Options e Export**. Questi strumenti sono ricorrenti in quasi tutti i programmi Windows e non hanno creato grossi problemi ai ragazzi. Gli studenti hanno invece incontrato difficoltà allorché hanno dovuto studiare e utilizzare le applicazioni specifiche attraverso la Command Line (finestra testuale). Per impiegare anche quest'ultimo strumento, è necessario rispettare una sintassi e imparare alcuni comandi che facilitano l'uso del software e ne potenziano le prestazioni. Gli studenti si sono familiarizzati con questo strumento, dapprima esplorando la molecola del Dna e successivamente (esercitazione finale) la struttura dell'emoglobina, di cui hanno cercato di evidenziare graficamente la causa scatenante l'anemia falciforme. Per seguire nel dettaglio l'intera esercitazione è possibile scaricare la versione *"Dal Macro al Micro.....Come Interagire con le Molecole"* formato pdf dal sito: <http://www.minerva.it>

### Orientamento sì o no?

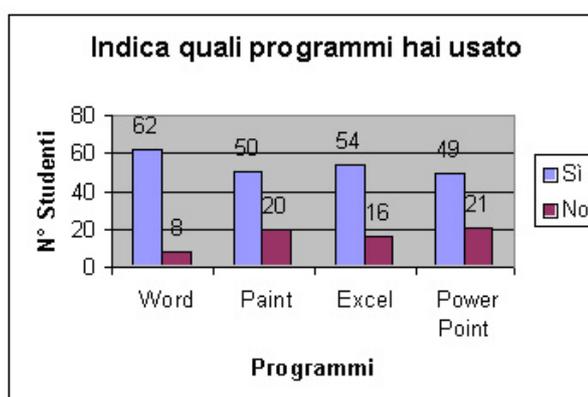
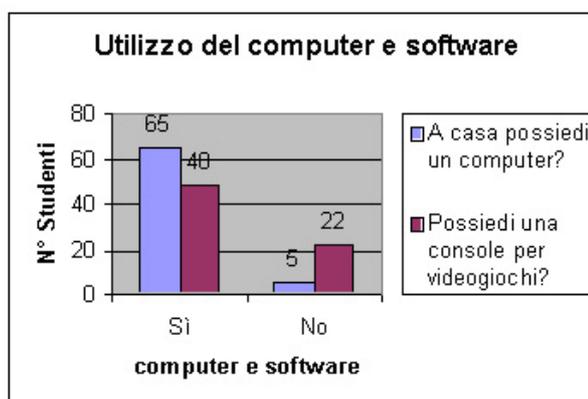
Prima di riflettere sulla mia esperienza, varrebbe la pena di chiedersi se l'idea stessa di orientamento abbia valore. Non sta a me fornire la risposta a questo quesito, perché non ho una sufficiente esperienza. Tuttavia sembra che le attività svolte finora nel settore dell'orientamento scientifico abbiano fatto crescere l'interesse per le scienze (aumento del numero delle iscrizioni ai corsi universitari). Senza una verifica seria non si può affermare che ciò sia conseguenza delle attività di orientamento intraprese negli anni scorsi e in quest'ultimo. Varrebbe la pena comunque di misurare il peso

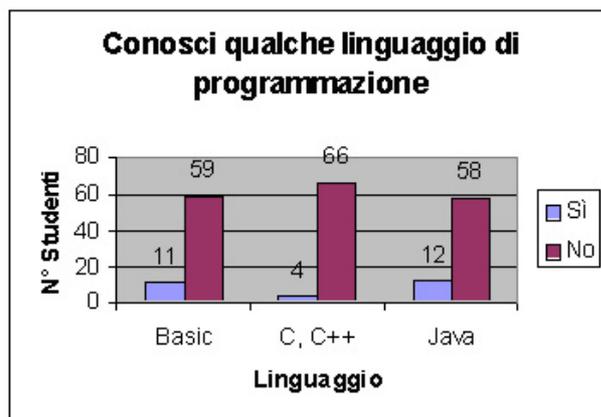
che tali iniziative hanno rispetto all'incremento.

Per fare un bilancio del mio contributo, devo premettere che i dati si riferiscono ad un campione di 70 ragazzi di età compresa tra i 15 e i 19 anni. Osservando i risultati del questionario somministrato all'inizio del laboratorio (Riquadro A), emerge immediatamente che l'inflazionata affermazione dei docenti: "Questa è la generazione dei computer o dell'informatica" non corrisponde al vero. Se alla domanda: "A casa puoi usare un computer?", il 100%, o quasi, degli intervistati ha risposto affermativamente, la percentuale decresce rapidamente man mano che si scorre il questionario. Alla domanda: "Conosci qualche linguaggio di programmazione?" solo tre persone hanno risposto affermativamente a tutte e tre le opzioni indicate, mentre la maggior parte, circa il 95%, non è a conoscenza di alcun linguaggio.

Il basso grado di alfabetizzazione informatica non ha tuttavia impedito agli studenti di manifestare un vivace interesse per l'attività di modellistica molecolare proposta. L'esperienza di poter interagire a livello virtuale con il microscopico visualizzando ed esplorando sistemi molecolari via via più complessi, li ha fortemente motivati. W.J. Hehre e J. Shusterman [8] sostengono che gli studenti devono *think like a molecule* ("pensare come una molecola") e per fare ciò è necessario vedere ed osservare la struttura presa in considerazione. Con la consapevolezza che parlo sulla base di un'unica esperienza, risponderei alla domanda che titola il paragrafo con un sincero Sì!

Questi tre grafici sono il risultato delle risposte date da 70 ragazzi della Scuola Media Superiore ai primi tre blocchi di domande del questionario: Utilizzo del Computer e Software; Indica quali Programmi hai usato; Conosci qualche Linguaggio di Programmazione.





### Note bibliografiche

[1] Per reperire l'intero intervento di G. Anzellotti, far riferimento all'indirizzo:

<http://www.uffstampa.provincia.tn.it/www/Didascal.nsf/0/6bd144e26c303627c125660c002b9ba5?OpenDocument>

[2] Per maggiori informazioni digitare:

[http://www.giallopesca.it/interno.php?id\\_disciplina](http://www.giallopesca.it/interno.php?id_disciplina)

=15&PHPSESSID=8e03dec7ddf8b2f8319cc7a91.

[3] Unità Territoriale di Servizi per l'Orientamento: <http://www.uts-orientamento.it>

[4] P. Paolicchi, "L'Orientamento tra Informazione e Formazione", in: *Atti della II Conferenza Nazionale sull'Insegnamento della Chimica. Esperienze di Orientamento, Orientamento delle Esperienze*, Società Chimica Italiana, Divisione di Didattica Chimica, Pisa, 18-19 Dicembre 2000, pp. 19-26.

[5] RasMol, scaricabile all'indirizzo:

<http://www.umass.edu/microbio/rasmol/index.html>

[6] Il questionario elaborato da L. Cerruti e da F. Turco è reperibile all'indirizzo:

<http://www.minerva.unito.it>

[7] Per le vicende della chimica computazionale si rinvia al capitolo 16 di L. Cerruti, *Bella e Potente. La Chimica del Novecento fra Scienza e Società*, Roma. Editori Riuniti, 2003; la citazione è alla p. 396.

[8] W.J. Hehre e J. Shusterman, "Molecular Modeling in Undergraduate Chemistry Education", *documento scaricabile all'indirizzo*, <http://www.ch.ic.ac.uk/local/organic/mod/Chem99.pdf>.

## Olimpiadi Internazionali della Chimica - Kiel 2004

Alle Olimpiadi Internazionali della Chimica, svoltesi a Kiel nei giorni 18-27 luglio 2004 hanno partecipato le rappresentative di 60 nazioni.

Questi i risultati ottenuti dalla squadra italiana:

### Medaglia d'argento

**Raffaele Colombo** dell' ITIS "Canizzaro" di Rho (MI)

### Medaglia di bronzo

**Leonardo Baldassarre** dell' ITIS "L. di Savoia" di Chieti

**Raffaele Colombo**, oltre ad aver conquistato la medaglia d'argento, **ha anche conseguito il miglior risultato ASSOLUTO MONDIALE** nelle prove pratiche.



Gentile collega, che ne sarà della scuola e dell'università italiana? La domanda si impone perché ormai da tempo, indipendentemente dal colore politico dei nostri ministri, in fatto di riforma si vive nella più grande incertezza.

Al solito stiamo oscillando secondo la legge del pendolo tra due visioni opposte: da un lato si guarda ad un sistema formativo ispirato all'egualitarismo, all'abbattimento delle barriere sociali e di censo purtroppo, debbo confessare, poco sensibile ai problemi dell'efficienza, dall'altro si guarda ad un sistema formativo meritocratico, che mira ad esaltare sopra ogni altra cosa le doti individuali e pone poca attenzione alle diseguaglianze sociali; la prima visione innalza la bandiera delle pari opportunità la seconda visione la bandiera dell'efficienza.

Le due visioni in se stesse si sono dimostrate inadeguate ed al momento attuale siamo culturalmente lontani da un auspicabile punto di equilibrio.

Volendo assumere la metafora del pendolo si può dire che si oscilla da un punto di vista a quell'altro con un periodo di oscillazione è di circa trenta anni, inoltre il pendolo politico, contrariamente al nostro pendolo metaforico, si muove di moto piuttosto irregolare.

Insistendo nella metafora si può anche dire che le leggi della fisica non governano la politica e soprattutto non è detto che il punto di equilibrio politico coincida con il punto più basso della traiettoria.

Lungi da me l'idea di rimpiangere gli esami di gruppo ed il sei politico d'inafusta memoria e per contro non vorrei nemmeno vedere reintrodotte le disumane bocciature dei bambini della scuola elementare. Mi chiedo tuttavia se non sia possibile almeno avvicinarci ad una equilibrata situazione intermedia.

Con lo scibile in espansione e la complessità dei sistemi sociali in incremento è necessario che la scuola dell'obbligo, destinata a forgiare la cultura di base dei futuri cittadini, comprenda almeno i primi due anni della scuola secondaria superiore. Questo sembrerebbe ormai un orientamento di tutta l'Europa.

Sembrerebbe anche logico pensare che la scuola dell'obbligo in una prima fase cioè per quasi tutta la scuola primaria (scuola elementare) sia dedicata a fare acquisire agli alunni oltre ad alcune abilità fondamentali adeguati comportamenti sociali ed a stimolare la loro creatività.

In una seconda fase (scuola media) mi sembra che possa iniziare la "discriminazione in positivo", prevista anche dalla riforma Moratti, consistente in percorsi formativi parzialmente personalizzati per i migliori ed in corsi di recupero per chi è in difficoltà.

Solamente al termine della scuola dell'obbligo a mio avviso il ragazzo dovrà scegliere se orientarsi verso gli studi supe-

rriori o verso una formazione tecnica e professionale. Probabilmente la scelta continuerà ad essere in parte condizionata dalle condizioni sociali ed economiche della famiglia, ma come sappiamo la scuola ha su questi aspetti una influenza solo parziale.

Dopo la scuola dell'obbligo la selezione dovrà gradualmente aumentare in modo che i diplomi rilasciati abbiano un significato chiaro ed univoco, inoltre dovranno essere selettivi sia l'accesso all'università che i corsi universitari.

Il parere che sono venuto maturando sulla riforma Moratti, tra perplessità e ripensamenti, non è quindi del tutto negativo, ritengo tuttavia che la proposta abbia qualche connotazione meritocratica di troppo, anticipando eccessivamente certi interventi, sottovaluta i condizionamenti legati alla cultura familiare e rischia di esaltare anzitempo l'individualismo e la competitività del bambino. Insomma lascia intravedere un punto di vista molto elitario.

Come si può pensare di costituire dei Piani di Studio Personalizzati (PSP) oppure degli Insiemi di Unità di Apprendimento (IUA) sino dai primi anni della scuola primaria? Tutto a detrimento di quel collaudato crogiuolo formativo (CCF?) che è la classe?

A mio parere la classe è un fondamentale luogo di socializzazione e di cooperazione, lo strumento di passaggio dalla famiglia a gruppi sociali più allargati: prima di sminuirne il ruolo ci penserei due volte. Preoccupiamoci viceversa che il bambino esprima appieno la sua naturale creatività. Analogamente mi sembra troppo precoce all'età di tredici anni porre l'alternativa tra studi superiori e una formazione professionale di medio livello. E non mi si venga a parlare di possibili passaggi da un versante a quell'altro: decenni di esperienza scolastica mi hanno insegnato che i passaggi avvengono nella grande generalità dei casi dall'alto verso il basso cioè dai licei alle scuole professionali.

Tutta la riforma in conclusione trasuda un bisogno di anticipare i processi e una grande indifferenza per ciò che viene sacrificato. Anche dal punto di vista dell'efficienza sociale vorrei fare notare ai responsabili di questi orientamenti che una grande mente a capo di una ciurma di beoti va poco lontano.

Sempre per diretta esperienza scolastica ho imparato che le menti eccellenti emergono comunque e che il grosso tentativo, indispensabile per il nostro tipo di società, consiste nel valorizzare l'eccellenza e contemporaneamente nell'innalzare anche di poco il livello culturale medio della parte rimanente.

Non si può infine operare come se le risorse fossero illimitate, specialmente in tempi di carestia.

È chiarissimo, a meno di una colpevole sottovalutazione, che le proposte avanzate richiedono insegnanti più numerosi e più specializzati ed in alcuni casi anche strutture mi-

gliori delle attuali. Come possiamo risolvere il problema? Affidando il compito a costose strutture private? Oppure dopo avere lasciato decadere la vecchia scuola, dobbiamo assistere impotenti ad una ennesima Riforma Virtuale (RF)?

Caro collega, mi scuso per il tono piuttosto pessimistico e ti invito ad inviare una lettera a CnS per farci conoscere il tuo punto di vista, meglio se ottimistico.

Cordiali saluti.



### Insegnare e apprendere le teorie dell'evoluzione

Eleonora Aquilini, Giuseppe Bagni, Daniela Basosi, Leonardo Barsantini, Aldo Borsese, Domenica Colombi, Margherita D'Onofrio, Paola Falsini, Carlo Fiorentini, Fiorenzo Gori, Stefania Gori Savellini, Lucia Lachina, Antonella Martinucci, Ezio Roletto, Paola Savini, Antonio Testoni

Pensiamo che l'interpellanza parlamentare che ha dato inizio al dibattito su Darwin sia stata doverosa; di fronte alla proliferazione, anche in Italia, di iniziative di ispirazione creazionista, era necessario chiedere al ministro Moratti che indicasse le motivazioni che lo avevamo condotto ad eliminare Darwin dai programmi della scuola media.

Il fatto è che il dibattito che si è sviluppato ha messo in evidenza che le motivazioni della scelta non erano culturali (sostenere, cioè, il creazionismo), ma esclusivamente didattiche. Da questo punto di vista le nostre considerazioni sono diverse rispetto a quelle pubblicate dai giornali che criticavano la decisione ministeriale sottolineando che veniva a mancare un caposaldo fondamentale della biologia moderna; riteniamo, infatti, che le indicazioni allegate al decreto sulla scuola di base pretendano di far acquisire troppi contenuti (tenendo conto che le ore settimanali dedicate alle scienze sono, purtroppo, solo 2), ed inoltre, che alcuni di tali contenuti siano addirittura assurdi (ad esempio: lavoro e energia, introduzione ai principi della meccanica con semplici esperimenti illustrativi, onde elettromagnetiche e trasmissione di segnali radio, ecc.). Assurdi perché prematuri in quanto, essendo eminentemente teorici, richiedono il possesso di abilità che gli studenti di scuola media non hanno; sarebbero significativi, eventualmente, solo per studenti della scuola secondaria di 2° grado.

Siamo fermamente convinti che una scuola di base di qualità si possa ottenere solo abbandonando la logica enciclopedica della scuola del programma. Come è stato affermato alcuni anni fa dalla commissione dei Saggi istituita dal Ministro Berlinguer, è imprescindibile la necessità di "avere il coraggio di scegliere e di concentrarsi".

La teoria dell'evoluzione è di grandissima importanza scientifica e culturale, e concordiamo pienamente con Gardner

quando afferma che la teoria di Darwin è una delle poche tematiche indispensabili nell'insegnamento scolastico.

Ma le teorie dell'evoluzione così come oggi sono generalmente proposte non vengono comprese e assimilate, e la maggior parte delle persone che escono dalla scuola secondaria superiore e dall'università (con titoli di indirizzo non biologico) non sanno nulla dell'evoluzione, se non alcune banalità quali il fatto che l'uomo derivi dalle scimmie o che il collo delle giraffe si allunghi (facendo confusione tra Lamarck e Darwin). E ciò succede in quanto il tema dell'evoluzione rappresenta uno tra i numerosissimi contenuti dei programmi, trattato quasi sempre in maniera superficiale, nozionistica e dogmatica. Facendo poi riferimento alla scuola secondaria superiore, vogliamo sottolineare che i programmi relativi alle teorie dell'evoluzione, oltre a prevedere moltissimi contenuti, li presentano impregnati di uno spinto specialismo: sono, infatti, completamente organizzati sulla biologia molecolare; e questo succede anche nel biennio dove gli studenti non hanno alcuna conoscenza significativa di chimica. L'evoluzione è sempre presente nei programmi ministeriali ma in pratica è resa inaccessibile agli studenti a causa del formalismo più assurdo.

In ogni caso, poiché riteniamo che il dibattito su Darwin possa rappresentare un'opportunità per insegnare in modo adeguato le teorie dell'evoluzione, formuliamo una **nostra proposta**. Essa prevede che, nella scuola di base, si lavori per costruire alcuni concetti operativi necessari per comprendere successivamente il complesso concetto di evoluzione e che, nel biennio della scuola secondaria superiore, si realizzi un programma di biologia centrato essenzialmente su Darwin e sulle teorie dell'evoluzione con un'impostazione storica.

Come è noto, affinché il nostro insegnare porti a concreti e sicuri apprendimenti, dobbiamo confrontarci con il problema del "cosa e del come" insegnare ad una data età scolare. Si tratta, cioè, di individuare i contenuti da affrontare a scuola tenendo conto delle potenzialità cognitive degli studenti che si hanno di fronte.

I concetti non sono tutti uguali: sono più o meno carichi di teoria e l'evoluzionismo è sicuramente un concetto complesso; perché gli studenti possano apprendere in maniera significativa occorre che posseggano non solo numerosi re-

quisiti cognitivi (ne ricordiamo, a titolo esemplificativo, alcuni: varietà nei viventi, individualità, trasformazione, relazione, adattamento, habitat, ecosistema), ma anche la capacità di utilizzarli per costruire una struttura cognitiva in cui il suo inserimento risulti coerente.

La scuola elementare e la scuola media di 1° grado sono i livelli scolastici in cui, scegliendo contenuti *poco carichi* di teoria, si deve lavorare per far acquisire agli alunni abilità di base funzionali allo sviluppo delle loro reti concettuali, tra queste, per esempio: la capacità di individuare analogie e differenze, la capacità di riconoscere le variabili di un fenomeno, la capacità di generalizzare, la capacità di effettuare inferenze.

Considerando concetti come habitat, popolazione, catena e rete alimentare, ecosistema e fattori che condizionano il suo equilibrio, studiando le caratteristiche delle piante e degli animali, e operando metodologicamente in modo da perseguire le abilità che abbiamo citato, si conducono gli alunni ad una condizione culturale che consentirà loro, nella scuola secondaria superiore, di acquisire la teoria di Darwin ri-

conoscendola come trama ineludibile del sapere biologico, che con i suoi principi si nutre, si organizza e si sviluppa. D'altra parte, il concetto di evoluzione sta alla base di ogni "attività operativa" compiuta a scuola, anche nelle prime classi della scuola dell'infanzia, (ad esempio, la classificazione di semplici "oggetti" come le foglie prevede criteri che sono evolutivi) e permette di acquisire una "abito mentale" che consentirà al bambino prima, al ragazzo e all'adulto poi, di "vivere" l'evoluzione per quello che è: un processo naturale.

**Nota del direttore.** *Sull'argomento, e su quanto all'argomento sta sotto, sarebbe opportuno aprire un dibattito fra i lettori. Personalmente interverrò nel dibattito nel prossimo numero, e dall'intervento risulterà chiara la mia posizione; ci tengo comunque a sottolineare il fatto che la pubblicazione di una qualsiasi lettera non implica in alcun modo l'adesione del direttore e della redazione al suo contenuto.*

## RECENSIONE

### RECENSIONE DEL VOLUME 'FRUTTA E SUCCHI DI FRUTTA: naturalmente sani, giovani e ...belli'

ROTOFFSET PAGANELLA s.n.c.,

1 Vol. di pp. 368 - Trento, 2004



Anche quest'anno i ragazzi della classe V periti chimici (Specializzazione tecnico ambientale e alimentare) dell'Istituto Tecnico 'M. Buonarroti' di Trento, in collaborazione con i compagni della IV classe e dei loro professori hanno effettuato una ampia e dettagliata ricerca nell'ambito dell'area di progetto prevista dai vigenti programmi scolastici. La ricerca è stata centrata sulle analisi chimiche e microbiologiche di succhi di frutta prodotti nel Trentino-Alto Adige ed ha ampia rilevanza anche all'esterno perché effettuata in collaborazione con una Università, con l'Istituto di Ricerche Agrarie di San Michele sull'Adige e con due importanti Aziende produttrici: la Trento Frutta e la Zipperle di Merano. Le problematiche relative ai radicali liberi, in particolare quelli all'ossigeno (ROS), sono oggi di grande attualità in quanto queste specie molto reattive sono ritenute in parte responsabili di diverse forme patologiche, come le malattie cardiovascolari, l'artrite reumatoide, la cataratta e certe for-

me di diabete e di tumori. Il grande pubblico conosce i radicali liberi attraverso la pubblicità sui media che reclamizza le proprietà di alcuni prodotti (dagli integratori vitaminici ai succhi di frutta, alle creme, perfino a alcune acque minerali) che sarebbero in grado di contrastare i segni precoci della vecchiaia. È ormai noto a molti che una alimentazione ricca di frutta e verdura può ridurre i danni provocati dai radicali liberi in quanto contengono sostanze in grado di "neutralizzare" gli effetti dannosi. Queste sostanze, genericamente chiamate antiossidanti, non sono soltanto le vitamine (in particolare la C e la E) ma anche e soprattutto i polifenoli, ossia composti che contengono nella loro molecola gruppi ossidrilici (-OH) legati a uno o più anelli aromatici. I polifenoli si trovano in moltissimi vegetali e frutta che fanno parte della nostra dieta alimentare, fra i quali l'uva, le mele, le pere, le pesche, le fragole, ecc.

Proprio in questa direzione, ma non solo, si colloca l'ampio e documentato lavoro, svolto nell'ambito dell'area di progetto dagli allievi periti chimici dell'I.T.I. "Buonarroti" di Trento e dai loro insegnanti. La ricerca, scientificamente ben sviluppata, riporta una ricca bibliografia ragionata, oltre all'ampia parte sperimentale dedicata all'analisi chimica dei principali antiossidanti contenuti in più di venticinque succhi di frutta prodotti e commercializzati dalle due Ditte dianzi citate. A tale proposito, un appunto va fatto alla voce: 'Misura degli antiossidanti totali' (pag. 15 e segg.). In realtà ciò che i metodi impiegati valutano è l'attività antiossidante dei succhi rispetto a una sostanza scelta come standard di riferimento. L'errore comunque non compare nella descrizione delle metodiche e nella presentazione e discussione dei risultati. Un altro appunto va fatto al nome di una delle reazioni usate per la misura dell'attività antiossidante: la reazione di Briggs-Rauscher, che nel volume è diventata la 'reazione di Briggs-Rauscher': raucher, in tedesco, significa 'fumatore'!). Attenzione particolare viene posta alle analisi microbiologiche (conta microbica totale, lieviti e muffe, batteri lattici, controllo di stabilità, ecc.), e sono discussi in maniera chiara e approfondita diversi altri argomenti legati all'assunzione di succhi di frutta nella dieta quotidiana. Sicché ad esempio, sono descritti i meccanismi di deterioramento delle materie prime, i trattamenti della frutta dopo la raccolta e prima della lavorazione industriale, e i trattamenti di conservazione.

Completa il lavoro una sperimentazione clinica *in vivo* su studenti e personale dell'Istituto (tutti volontari), che sono stati suddivisi in gruppi in base ai valori ROS nel loro sangue. I diversi gruppi sono stati trattati con vitamina C e frutti contenenti antiossidanti: i risultati hanno mostrato che una opportuna prevenzione riduce lo stress ossidativo nei gruppi maggiormente a rischio (dieta povera di frutta, abitudine al fumo di sigaretta, ecc.). Le tecniche analitiche utilizzate sono tra le più moderne attualmente in uso nei laboratori chimico-clinici di ricerca e di controllo.

Il lavoro ha un carattere fortemente interdisciplinare oltre che per le ovvie relazioni fra chimica, biologia, microbiologia

e medicina, anche per la collaborazione con i docenti di lettere e lingue straniere nella traduzione di articoli scientifici e divulgativi dall'inglese e dal tedesco.

Il lavoro è in concorso per la seconda edizione del Premio 'Mario Rippa', sponsorizzato dalla Editrice Zanichelli ed è sicuramente meritevole di essere considerato fra i vincitori.

**Rinaldo Cervellati**

**Gli insegnanti interessati possono chiedere copia del volume e del CD (gratuitamente) al Prof. Bruno Carmelo per mail o per telefono:**

**labochiti@virgilio.it tel. 0461 220100**

## ACHILLE E LA TARTARUGA

a cura di **FRANCESCA TURCO**

### Scienza divertente

Per un fluido rientro dalla pausa estiva e per affrontare un nuovo anno scolastico propongo una puntata "leggera": una rassegna di pagine umoristiche sulla chimica o sulle scienze in genere. Chiaramente l'argomento è solo in apparenza lieve, il divertimento è senza dubbio il miglior modo per "contrabbandare" cultura (pensate che sogno: potrebbero chiederne ancora!) a chi solitamente sbadiglia come una fiera. Tanto più quando si tratta di materie come chimica (*in primis*), matematica, fisica, ecc... Inoltre quel che si apprende giocando, o comunque ben disposti, diviene conoscenza profondamente interiorizzata e può costituire la base per un complesso sistema di pensiero. Terminate le ovvietà passiamo alla rassegna; partendo naturalmente dai classici:

Su <http://www.l-d-x.com/dhmo/> si trova la versione italiana del sito sul pericolosissimo DHMO (monossido di diidrogeno), a cura della relativa Divisione di Ricerca di Newark, Delaware. Vi verrà svelato il complotto che vorrebbe occultare come la sostanza sia un possibile agente cancerogeno, abbia pesanti ricadute ambientali e sia massicciamente impiegata nell'industria casearia.

Come metodo didattico è forse un po' datato ma resta molto piacevole la lettura della "Chimica in Versi" di Alberto Cavaliere, chimico contro voglia. L'autore narra che, non avendo superato l'esame di chimica, mise mano alla sua vera vocazione - la poesia - realizzando un componimento di chimica sistematica in versi per poterla ricordare agevolmente. Il poema, in diverse riduzioni, si trova a diversi indirizzi, la versione - credo - completa è riportata su <http://www.geocities.com/Athens/Olympus/3656/chimica/chimica.htm>; al termine della pagina si trova il collegamento per la successiva sezione dedicata alla chimica organica. Uscendo dal seminato e rischiando di fornire un argomento a chi persiste nella riduzione dei fondi di ricerca (tanto non ci leggono): <http://www.castfvg.it/zzz/comunicati/011015.htm> presenta dieci anni di premi ig-nobel, i premi assegnati ad Harvard, con una cerimonia di magnificenza pari a quella svedese, alle ricerche più stravaganti. Un paio



disegno di **Kevin Pease**

sito <http://cerulean.st/tower/art12.htm>

di esempi: premio per la meteorologia del 1997 assegnato a Bernard Vonnegut dell'Università di Albany, per la sua ricerca "Lo spennamento dei polli come misura della velocità dei tornado". Premio per la matematica del 1993 a Robert Faid di Greenville, Carolina del Sud, per aver calcolato esattamente (8.606.091.751.882:1) la possibilità che Gorbaciov fosse l'Anticristo. Purtroppo l'elenco non corrisponde fedelmente a quello ufficiale, pubblicato sulla rivista "Annals of Improbables Research", meglio quindi consultare <http://www.improbable.com/ig/ig-pastwinners.html> (sito in lingua inglese), che riporta inoltre anche gli anni più recenti e la bibliografia.

Per estensione dallo humor passiamo al gioco:

Su [http://funsci.com/texts/index\\_it.htm](http://funsci.com/texts/index_it.htm) sono presentati con grande cura diversi esperimenti da fare con materiali generalmente molto comuni. La maggior parte prendono spunto dall'ottica ma toccano poi diverse discipline; pienamente dedicate alla chimica sono le sezioni su elettrochimica e acidi e basi. Consiglio comunque di visitare anche le altre sezioni di questo bel sito: molte meritano di essere proposte in classe, ad esempio alcuni degli 'esperimenti di educazione ambientale e biologia' o 'micromondi', perché si prestano anche alla spiegazione di un po' di chimica e soprattutto perché decisamente affascinanti e quindi ottimi per far nascere la passione (o, nei più refrattari, almeno un po' d'interesse) per la scienza. Per continuare sulla via della multidisciplinarietà, altri "giochi" di diverso livello di complessità, sia per quel che riguarda i concetti sia i materiali necessari, si trovano nei siti consigliati nella pagina dei *link*: [http://funsci.com/texts/wsites\\_it.htm](http://funsci.com/texts/wsites_it.htm).

"Esperimenti concettuali" sono invece quelli presentati su <http://utenti.quipo.it/base5/misure/pesi.htm>, una collezione di giochi matematici basati sull'uso della bilancia. Moltissimi altri giochi e testi si trovano nella *home page* di questo bellissimo sito (<http://utenti.quipo.it/base5/>) dove è presente anche il collegamento ad un portale di didattica matematica, cui vale la pena fare una visita.

\* Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata, c.so M. D'Azeglio, 48 - Università di Torino.  
[francesca.turco@unito.it](mailto:francesca.turco@unito.it)

## Il Gruppo Giovani delle SCI: creiamo dei legami?

Come immagino tutti saprete (anche i non direttamente interessati sono stati da me disturbati telefonicamente o via mail), da non molto è nato il Gruppo Giovani della SCI, Gruppo cui afferiscono d'ufficio (e gratuitamente) tutti gli iscritti alla SCI che non abbiano compiuto il 35° anno di età alla data del 1° gennaio dell'anno di riferimento. Il Gruppo si configura quindi come interdisciplinare dal momento che gli iscritti provengono da tutte le Divisioni in cui si articola la SCI. La delibera del Consiglio Centrale della Società per la costituzione del gruppo risale al 19/06/02 e, dopo una fase preliminare guidata da un Gruppo Costituente, è stato recentemente eletto il primo Consiglio Direttivo del Gruppo (composto da un consigliere rappresentante per ciascuna Divisione: Francesco Basile per la Divisione di Chimica Industriale, Andrea Cavalli per la Divisione di Chimica Farmaceutica, Carlandrea Cerdelli per la Divisione di Chimica Analitica, Vincenzo Cunsolo per la Divisione di Spettrometria di Massa, Gianluigi De Gennaro per la Divisione di Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali, Marco Franceschin per la Divisione di Chimica dei Sistemi Biologici, Mariangela Longhi per la Divisione di Elettrochimica, Bruno Pignataro per la Divisione di Chimica Fisica, Stefano Sforza per la Divisione di Chimica Organica, Matteo Tegoni per la Divisione di Chimica Inorganica e Francesca Turco per la Divisione di Didattica Chimica), che ha effettuato un paio di riunioni e organizzato l'assemblea dei soci, nel maggio scorso. Durante questi incontri sono stati definiti i primi obiettivi del Gruppo, in osservanza all'articolo uno del regolamento, che afferma: *“La costituzione del Gruppo Giovani risponde all'esigenza della SCI, condivisa da gran parte delle Società Chimiche Europee, di dotarsi di una struttura autonoma ed improntata alla più ampia interdisciplinarietà che abbia come finalità la promozione della cultura chimica, la facilitazione degli scambi scientifici, l'agevolazione dell'inserimento nel mondo del lavoro e della ricerca, nell'accademia e nell'industria.”*

Il Gruppo Giovani è di gran lunga il più numeroso della SCI, in quanto comprende quasi 1500 soci, ovvero circa il 38% di tutti i soci SCI. In questo panorama ricco di futuro e prospettive la Divisione di Didattica costituisce un'anomalia: i soci giovani provenienti dalla nostra divisione sono solamente NOVE. Cioè il 2% degli iscritti alla Divisione. Questo è gravissimo. I nostri obiettivi: la qualità dell'insegnamento, la promozione della cultura e dell'immagine della chimica, così come l'esperienza accumulata, non possono finire dimenticati per la mancanza di mani cui passare le consegne. Una possibile reazione è il coinvolgimento del maggior numero possibile di iscritti al gruppo giovani in attività in qualche modo correlate a queste finalità. Il regolamento del gruppo non solo lo consente, ma pone come primo obiettivo *“la promozione della cultura chimica”*. A questo proposito sono pensabili diverse iniziative. Una potrebbe essere la promozione di argomenti di tesi (magari di dottorato) che riguardino ricerche sulla storia della disciplina, che evidenzino il ruolo centrale che questa ha nella società e (per non sottolineare solo il fine pratico) l'importanza e la bellezza intrinseche di un'avventura conoscitiva, di un modo

di leggere il mondo. I testi prodotti potrebbero costituire la base per un'operazione di divulgazione, che contribuisca ad eliminare le pesanti distorsioni con cui la nostra disciplina è solitamente pensata. Questa è una proposta, se ne possono ideare altre. In ogni modo, qualunque sia il pacchetto di iniziative scelte, è indispensabile creare una rete di persone disposte ad occuparsene e, da principio, a stendere un piano di finalità. Una di queste iniziative, insieme alla creazione della rete di volontari, è già stata proposta dal Direttivo del Gruppo Giovani e approvata dall'assemblea dei soci. Si tratta della preparazione e distribuzione di materiale divulgativo nelle scuole secondarie, nonché dell'organizzazione di incontri con gli studenti, ovvero sia di un coordinamento a livello nazionale delle cosiddette attività di *“orientamento”*, già avviate in quasi tutte le sedi universitarie (e in buona parte già ora messe in atto da *“giovani”*) attraverso la raccolta e la distribuzione del materiale più interessante. E qui vorrei fare due chiarimenti: innanzi tutto i protagonisti di questa iniziativa saranno prevalentemente universitari (almeno in una prima fase) perché per la quasi totalità gli iscritti al Gruppo sono giovani ricercatori che tentano di accedere alla carriera universitaria; quindi non si tratta di una precisa volontà di escludere altre figure, ma proprio della quasi totale assenza di soci provenienti dalla Divisione di Didattica e, quindi, di giovani insegnanti. I giovani universitari sono solitamente segregati nei laboratori e non fanno ancora attività didattica, sono però entusiasti dei *“nostri”* argomenti quando li conoscono. Non si allarmino le altre Divisioni: non voglio rubare loro iscritti, ma ritengo che una seconda iscrizione alla Divisione di Didattica, o anche una semplice partecipazione alle attività e alle discussioni, possa essere molto costruttiva per chiunque abbia intenzione di dedicarsi all'insegnamento. Per portare a termine l'iniziativa si spera nel coinvolgimento di docenti della secondaria, che collaborino con i gruppi di orientamento per diffondere un'educazione scientifica anche fra chi non diverrà uno scienziato. E questo è il secondo chiarimento: non si allarmi nemmeno la Divisione di Didattica. Il Gruppo Giovani non ha intenzione di replicare iniziative già esistenti o di entrare in competizione, ma di affiancarsi, aderendo a quel che già c'è e di ampliare la partecipazione dei giovani universitari alle attività, ripetute fondamentali, di diffusione della cultura chimica e di una didattica di alto livello. Senza dubbio un primo contatto da stabilire è con le reti Corefac per reclutare nuovi giovani insegnanti (questi sì che potrebbero iscriversi alla Didattica come prima divisione) e riequilibrare il rapporto insegnanti/universitari nel Gruppo Giovani per avvicinarlo al buon rapporto che vi è nel totale della SCI (10%, calcolato come numero di soci della Didattica sul totale dei soci SCI).

La diffusione della cultura chimica non è l'unico obiettivo del Gruppo, altre attività, proposte dal Direttivo e approvate dall'assemblea dei soci sono:

Sito web: per non smentirmi vi comunico che l'indirizzo del sito è <http://www.scigiovani.it/>, chiunque voglia fornire materiale o informazioni che possano interessare i giovani chimici può farlo attraverso la funzione *“Inserisci News”* o inviandolo via e-mail al Dr. Bruno Pignataro ([bpignataro@dipchi.unict.it](mailto:bpignataro@dipchi.unict.it)).  
Sessioni Giovani nei congressi di Divisione: il Direttivo si è impegnato a promuovere presso le Divisioni SCI una politica di agevolazione alla partecipazione dei giovani ai congressi divisionali, sia tramite iscrizioni ridotte sia tramite l'apposita costituzione di sessioni *“giovani”* all'interno di tali eventi.

Premio miglior lavoro 2004: il Direttivo ha intenzione di

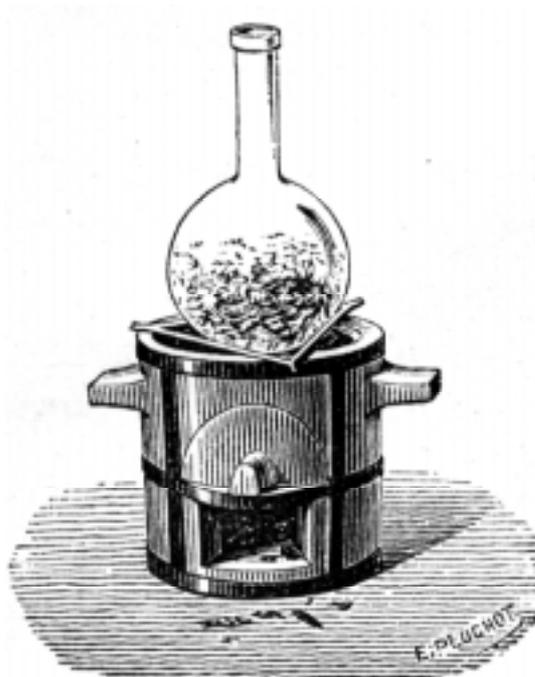
istituire un premio annuale del Gruppo Giovani al miglior lavoro. Tale premio sarà riservato ai Soci Giovani SCI e, data la natura interdisciplinare del Gruppo, dovrà essere un lavoro di broad readership.

Attività locali: è auspicabile una capillare attività dei Giovani nelle sedi locali, che si fonderà sulla rete di referenti di sede descritta prima.

Internazionalizzazione: nel presente panorama di auspicata mobilità dei ricercatori e di internazionalizzazione dell'attivi-

tà di ricerca è evidente l'importanza di stabilire rapporti continuativi con i Giovani delle altre Società Chimiche Europee. Uno scambio di esperienze con gli analoghi gruppi all'estero è altrettanto auspicabile per quel che riguarda la didattica. L'assemblea ha inoltre approvato un documento che esprime l'opinione del Gruppo sul Disegno di Legge Moratti sul Riordino dello Stato Giuridico e sul Reclutamento dei Professori Universitari.

**Francesca Turco**  
**Rappresentante della Divisione**



Ballon.

## ERRATA CORRIGE

Per problemi tecnici, alcuni diagrammi relativi all'articolo "Lo stato di salute dell'insegnamento come risulta dallo studio PISA 2000" di Liberato Cardellini, comparso nel n.2 di CnS-La Chimica nella Scuola, pag. 49, sono risultati illeggibili. La redazione si scusa con l'Autore e con i lettori. Di seguito sono riportati i diagrammi corretti.

