

cns

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

**AVOGADRO
E LA POLITICA DELLA SCIENZA**

**MAPPE CONCETTUALI:
INTERVISTA A NOVAK**

**PREMIO NOBEL
PER LA CHIMICA 2005**



LA CHIMICA
NELLA SCUOLA

Anno XXVIII
Marzo - Aprile 2006

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 Michelin,
Ezio Roletto

Editing

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

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

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

Ufficio Abbonamenti

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

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

SOMMARIO

EDITORIALE

La V conferenza Nazionale a Firenze **65**
di *Eleonora Aquilini*

DALLA COPERTINA

Charles John Pedersen **66**
di *Francesca Turco*

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

La didattica della Chimica Analitica:
analisi e prospettive **68**
di *Luigi Campanella*

Intervista a Joseph D. Novak **71**
di *Liberato Cardellini*

ESPERIENZE E RICERCHE

La struttura gerarchica della chimica di base **77**
di *Ezio Roletto, Alberto Regis, Marco Ghirardi*

Sviluppo di un modello didattico, con l'attuazione
di rappresentazioni "logico- iconiche", per la
trattazione del secondo principio della termodinamica **86**
di *Enrico Mansueti, Marco La Selva*

PREMI NOBILI DELLA CHIMICA

Il Premio Nobel per la chimica 2005 **99**
di *Dario Pini*

STORIA DELLA CHIMICA

Amedeo Avogadro (1776-1856) e la Politica della
Scienza in Italia **104**
di *Marco Ciardi*

DIDATTICA PER L'UNIVERSITÀ

ECTN: la rete tematica europea per la chimica
e le sue attività **108**
di *Antonio Laganà*

RUBRICHE

LETTERA AL LETTORE **114**
Parliamo ancora di riforme
di *Ermanno Niccoli*

CONVEGNI E CONGRESSI **115**
Avogadro e la cultura scientifica del primo 800.
XXII Congresso Nazionale SCI 2006.
V Conferenza Nazionale DD-SCI.

Errata Corrige **120**

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

La V Conferenza Nazionale a Firenze

Il prossimo settembre, nei giorni 11, 12 e 13, si svolgerà la quinta Conferenza Nazionale della DD-SCI. E' nel 1998 che è nata l'idea di alternare il Congresso biennale della Divisione con una Conferenza che permetta di riunire i soci della divisione, per discutere intorno alle problematiche riguardanti la didattica della Chimica, almeno una volta l'anno. Dopo Bologna, Pisa, Cagliari e Assisi adesso è la volta di Firenze. Questa volta la nostra Conferenza coincide con il XXII Congresso della SCI che ha tempi più lunghi di quelli che ci siamo riservati (10 - 15 Settembre); ovviamente la quota d'iscrizione per la nostra Divisione permette di partecipare a tutte le manifestazioni previste per il Congresso. Sul sito www.sci2006.unifi.it si possono trovare tutte le informazioni al riguardo. Il titolo che abbiamo scelto per questa Conferenza è "Chimica per appassionare e formare" perché siamo convinti che la Chimica sia uno strumento essenziale per la formazione dei cittadini che devono capire e interpretare un mondo in cui scienza e tecnica dominano e regolano la vita quotidiana. Riteniamo importante che l'insegnamento sia pensato per coinvolgere e per appassionare, e che quindi sia doveroso proporre non solo la Chimica, ma tutta l'area scientifico - sperimentale in modo che, a tutti i livelli scolari, se ne possano apprezzare il valore e la bellezza. Ci proponiamo di dare spunti e idee per l'insegnamento della Chimica con la consapevolezza che ogni insegnante, ogni classe, fa un *viaggio* diverso, affascinante, unico e irripetibile; anche quando la traccia di lavoro è la stessa, *il percorso* non è mai uguale. Viene in mente, a questo proposito, la frase di Saramago che i nostri alunni delle classi quinte dovevano commentare per l'esame di stato lo scorso anno scolastico: "Prenda il lettore le pagine che seguono come sfida e invito. Faccia il proprio viaggio secondo un proprio progetto ... accetti di sbagliare strada e di tornare indietro, o, al contrario, persevera fino a inventare inusuali vie di uscita verso il mondo. Non potrà fare migliore viaggio. E, se sarà sollevato dalla propria sensibilità, registri a sua volta, quel che ha visto e sentito, quel che ha detto e sentito dire..."

La felicità, che il lettore lo sappia, ha molte facce. Viaggiare probabilmente è una di queste. Affidi i fiori a chi sappia badarvi, e incominci. O ricominci. Nessun viaggio è definitivo".¹

Accogliamo questa metafora e cerchiamo di cambiare il nostro modo d'insegnare, abbandonando le modalità usuali di accostarsi alla Chimica, provando e riprovando, in modo da trovare le strade giuste per rendere avvincente lo studio di questa disciplina che appare troppo spesso arida e adatta a pochi.

Con questo spirito abbiamo indetto anche un concorso regionale², rivolto ai diversi livelli scolastici: scuola primaria, secondaria di primo grado e secondaria di secondo grado. Abbiamo cercato di esplicitare nei temi proposti il diverso ruolo dell'esperienza scientifica nell'insegnamento: per i primi due ordini di scuola si chiede di raccontare un'esperienza che sia piaciuta particolarmente alla maggioranza degli alunni della classe; per la scuola secondaria superiore invece si chiedono elaborati relativi all'opera di Amedeo Avogadro nel contesto della Chimica del suo tempo. Il XXII Congresso della SCI è infatti dedicato alla figura di Avogadro; segnaliamo, a questo riguardo, le Conferenze di apertura di Luigi Cerruti e Marco Ciardi, dedicate proprio al grande scienziato.

I tre giorni della Conferenza sono indirizzati all'insegnamento della Chimica rispettivamente nel ciclo primario, nella scuola secondaria di secondo grado e nelle università, con particolare attenzione al problema della formazione degli insegnanti. A cavallo dei temi didattici inerenti alla Chimica nella scuola secondaria e nell'università sono stati inseriti alcuni interventi relativi al Progetto Lauree Scientifiche, che termina il suo primo anno di realizzazione.

Verrà presentato, in una tavola rotonda prevista per

¹ J.Saramago, "viaggio in Portogallo", Einaudi, Torino, 1993, p. 4.

² Problemi di organizzazione e (soprattutto!) di sponsorizzazione hanno impedito che il concorso avesse una base nazionale.

l'11 Settembre, il Piano ISS- Insegnare Scienze Sperimentali. Si tratta di un progetto ministeriale, indirizzato al miglioramento della didattica delle Scienze Sperimentali nell'arco scolastico che va dalla scuola primaria al primo biennio della secondaria di secondo grado, a cui la DD-SCI partecipa unitamente ad AIF, ANISN, Museo della Scienza e della tecnologia Leonardo da Vinci di Milano e Città della scienza di Napoli. E' un lavoro importante che coinvolgerà molti insegnanti di parecchie regioni italiane; si tratta sicuramente di un progetto ambizioso, che consolida la nostra collaborazione con le altre associazioni scientifiche degli insegnanti.

Sono arrivati molti contributi per comunicazioni orali e poster, e di questo ringraziamo tutti gli autori. Le iscrizioni fatte per la partecipazione ai lavori della Divisione Didattica sono però, al momento, poche. Una sollecitazione all'iscrizione è per noi doverosa in quan-

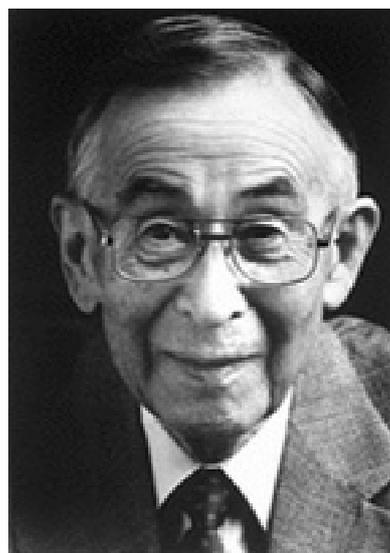
to è fondamentale essere in molti per far conoscere le nostre proposte, per confrontarci, per discutere, per dare forza e sostegno alla nostra associazione. Ricordiamo che proprio in occasione della V Conferenza, nell'Assemblea dei Soci, dovranno essere presentate le candidature per le cariche sociali relative al triennio 2007-09: presidenza della divisione e consiglio direttivo. E' importante che soci siano presenti e facciano le loro proposte, tenendo conto del lavoro fatto e di tutto quello che ancora c'è da fare. Teniamo presente un dato assai importante: la forza (anche contrattuale) di un'associazione dipende sia dal numero di soci, sia dalla partecipazione alle attività. E' in atto una tendenza generalizzata per tutte le associazioni, tendenza che vede prima il graduale distacco fra la base sociale e il gruppo dirigente, poi la diminuzione delle associazioni. E' una tendenza che dobbiamo a tutti i costi contrastare.

Charles John Pedersen

Pusan, 1904 – Salem, 1989

A cura di **FRANCESCA TURCO**

Pedersen nasce il 3 ottobre 1904 a Pusan (Corea) dove il padre, Brede Pedersen, norvegese, lavora presso le Unsan Mines, concessione americana per lo sfruttamento di oro e legname. A otto anni viene mandato a Nagasaki e due anni dopo si trasferisce insieme alla madre (Takino Yasui, giapponese) a Yokohama dove frequenta il suo primo corso di chimica presso il St. Joseph College, scuola cattolica. Al momento di scegliere l'università viene incoraggiato dalla famiglia a recarsi negli Stati Uniti e la scelta cade su Dayton, in Ohio. Pedersen non lascerà più gli Stati Uniti ma la sua storia familiare rende come minimo comica la formula "chimico americano" con cui viene solitamente definito. A Dayton ottiene il bachelor's degree in Ingegneria chimica, consegue poi il master's degree in chimica organica al MIT. Invitato da James F. Norris a fermarsi al MIT per conseguire il Ph.D., preferisce rendersi economicamente indipendente e nel 1927 sceglie di impiegarsi alla Du Pont, dove lavorerà per tutto il lungo corso della sua carriera; questa scelta rende Pedersen uno dei pochissimi scienziati insigniti del premio Nobel che non hanno raggiunto il grado più alto dell'istruzione universitaria. Alla Du Pont, secondo la testimonianza dello stesso Pedersen, regna un'atmosfera "non del tutto tipica per i laboratori industriali dell'epoca", probabile riferimento alla presenza di diversi gruppi dediti alla ricerca di base. I primi argomenti di cui si occupa spaziano dai coloranti alla sintesi del piombo tetraetile, refrigeranti e antigelo. La felice soluzione di questi problemi, che porta al rilascio dei primi di una lunghissima serie di brevetti, lo avvia ad una brillante carriera. Gli anni Quaranta vedono Pedersen impegnato nella prevenzione della degradazione della gomma e di altri prodotti petroliferi, la via scelta è la ricerca di legandi in grado di complessare i metalli di transizione, che catalizzano la degradazione. Su questo argomento pubblica una ventina di brevetti. Nel 1947 sposa Susan Ault e viene promosso a ricercatore associato, il ruolo più alto che uno scienziato potesse conseguire alla Du Pont prima di assumere un compito amministrativo. Alla fine degli anni 1940 cambia argomento di ricerca, cominciando ad occuparsi di fotochimica, ma nel 1960, avendo optato per il trasferimento al neonato Dipartimento degli Elastomeri, ritorna alla chimica della coordinazione, studiando gli effetti di diversi legandi fenolici. In quest'ambito, nel corso di uno studio sul gruppo vanadile, grazie all'uso di un reagente fortemente impuro, sintetizza involontariamente il primo etere corona, il dibenzo[18]corona-6. La prontezza nel rendersi conto di aver ottenuto un prodotto impreveduto, la scelta di caratterizzarlo e la tenacia nel farlo portarono a un vero e proprio salto di qualità nella chimica,



Charles John Pedersen

all'aumento di un gradino nella scala della complessità di pertinenza della disciplina, alla nascita della chimica supramolecolare. Gli eteri corona hanno infatti "l'inusuale" (e utile) proprietà di "catturare" gli ioni alcalini, tramite la formazione di legami deboli. I risultati di Pedersen furono pubblicati sul *Journal of the American Chemical Society* nel 1967, in un articolo tanto poderoso da essere passato alla storia come *blockbuster*, tale è la mole di dati presentata in 20 dense pagine. Tanta ponderosità non fu dovuta solo al forsennato ritmo produttivo del nostro chimico ma anche al lungo tempo a disposizione: una prima richiesta di brevetto è infatti riportata sui *Chemical Abstract* già nel '64, ma evidentemente la Du Pont ritenne di non far pubblicare alcunché per diversi anni; dal nostro punto di vista è pesante la responsabilità dell'azienda per il ritardo della pubblica diffusione di un argomento tanto rilevante. Pedersen ebbe dunque tempo in abbondanza per studiare con agio i suoi nuovi prodotti. Gli ultimi anni della carriera, furono dedicati all'approfondimento di questo nuovo e affascinante campo d'indagine: formalmente il nostro chimico andò in pensione nel 1969, ma articoli recanti la sua firma continuarono ad apparire almeno fino al '78. Un altro ritardo doveva concludere, questa volta definitivamente e in grande stile, la carriera di Pedersen: nel 1987 (dopo vent'anni) gli fu assegnato il premio Nobel per la chimica congiuntamente a Donald J. Cram e Jean-Marie Lehn, brillanti "eredi" delle ricerche di chimica supramolecolare. Pedersen, ormai ottantatreenne, ironizzò affermando di essere lieto di essere ancora vivo. Morì il 26 ottobre 1989 a Salem, New Jersey. La storia professionale di Pedersen appare molto piana, quasi dimessa, questo tuttavia non gli impedì di svolgere ricerche di livello eccellente. Una delle premesse del successo di Pedersen fu senza dubbio l'ambiente in cui operò, la ricchezza di mezzi che un'azienda come la Du Pont poteva mettere a disposizione dei propri ricercatori, ma non secondaria fu la personale, potente, dedizione al lavoro, che come abbiamo visto estese ben oltre i limiti di una carriera "normale".

Per approfondire. F. Turco, L. Cerruti, "Charles J. Pedersen e le origini della chimica supramolecolare", *Nuncijs, annali di storia della scienza*, **XV**, 1, pp. 111-168 (2000).

La didattica della chimica analitica: analisi e prospettive

LUIGI CAMPANELLA*

Dove va la chimica analitica oggi e soprattutto dove andrà domani? Per rispondere a questa domanda è opportuno partire dalla rivoluzione chimica (tab. I) per comprendere le linee di sviluppo della chimica analitica e quindi prevedere quelle del suo futuro vicino. A tale rivoluzione è collegata la successiva progressiva trasformazione delle metodologie e delle strumentazioni (tab. II).

Con tali metodologie, vecchie e nuove, la chimica analitica è oscillata fra il carattere di scienza autonoma e quello di scienza di servizio. Come scienza autonoma ha rischiato di perdere la sua identità a causa

- della crescente superspecializzazione della disciplina
- dell'attuale enfasi sulla strumentazione e sulla misura
- dell'ignoranza di Chimica Analitica nel bagaglio chimico fondamentale

- della generalizzata mancanza di interessi dei chimici analitici come ricercatori nei campi della Filosofia e Storia della Scienza ed in particolare della Chimica. Come scienza di servizio ha purtroppo rinunciato ad alcuni sviluppi specifici avanzati in favore di una permeazione negli altri settori. In fondo bene considerando la chimica, dalle origini e per molti anni, fu fortemente analitica, impegnata nell'acquisizione di conoscenze sul mondo inorganico e poi su quello organico, sulla composizione della materia e sulla sua struttura, infine sui processi che si determinano nei sistemi indagati. Quando il bagaglio di conoscenza, fu notevole, fu possibile trarne vantaggi economici per l'uomo, in termini di merci migliori e in maggiori quantità, di tutela della salute pubblica, di benessere generalizzato; allora il ruolo euristico decadde per trasformarsi in quello di tutore per la conservazione di quello stato favorevole di cose; ci fu tendenza a relegare l'analisi a un ruolo ancillare, a un servizio indispensabile di struttura solida ma statica. Da un certo tempo, si va di nuovo sviluppando la ricerca analitica conoscitiva rivolta ai fenomeni di base, ai problemi nuovi e reali, alla ottimizzazione e alla gestione economica dei processi produttivi, allo sviluppo dei mezzi strumentali di indagine adeguata e alla apertura di nuovi capitoli, come quello dell'analisi biotecnologica. C'è poi il problema del metodo deduttivo o induttivo (tab. III), teorico o sperimentale. Ci sono voluti molti anni per comprendere che il valore aggiunto di un'esperienza nuova non è certo inferiore a quello di una teoria elaborata

sulla base di principi e leggi generali o di esperienze condotte ed elaborate da altri (tab. III).

Oggi la chimica analitica aiuta la società nelle sue diverse attività e campi (sanità, agricoltura, alimentazione, beni culturali, ambiente, produzione) e verso questi settori sta producendo ulteriori importanti sforzi per mettere a punto sistemi e metodi di controllo sempre più sofisticati e miniaturizzati capaci, di essere automatizzati, ma anche di operare in situ, di caratterizzare produzioni alimentari DOC e DOP, di aiutare indagini investigative, di misurare concentrazioni di inquinanti sempre più basse.

Nell'ultima fase della congiuntura attuale ha l'industria sempre più concentrata la propria attenzione ed i propri interessi su iniziative con sbocchi commerciali a breve termine (5-10 anni). Le scadenze spesso ravvicinate precludono elevati tassi innovativi. Il chimico analitico deve pertanto valorizzare al massimo l'esistente in tema di materiali e di metodi, scegliendo, ove manchi la soluzione ideale, quella fra le disponibili che più l'avvicina in termini di risultato finale.

La preponderanza delle tematiche chimico analitiche nella formazione degli addetti chimici per l'industria è la dimostrazione dell'importanza del chimico analitico per l'industria, ma anche del fatto che l'industria richiede al chimico analitico alcune fondamentali caratteristiche: abilità alla comunicazione scritta e orale ed al lavoro in squadra, iniziativa, uso e trattazione dell'informazione e delle idee, il che vuol dire capacità ad apprendere dagli altri, oltre ovviamente alla preparazione scientifica. Si tratta di formarsi alla scienza della soluzione dei problemi: un settore rigoroso che richiede precisi e definiti passi intermedi (definizione del problema, raccolta delle informazioni, scelta del metodo analitico, implementazione dell'analisi di campioni noti ed incogniti, trattazione, interpretazione e rappresentazione dei risultati, soluzione dei problemi).

La formazione allora che l'università deve dare non può che partire da tutte queste considerazioni e, ribadito il contributo storico ed attuale della chimica analitica alla soluzione di alcuni problemi planetari (ambiente, salute, risorse alimentari):

- descrivere un percorso nel quale venga esaltato il rapporto stretto fra chimica analitica e metrologia e quindi il contributo della chimica analitica per la qualità del dato analitico, come garanzia non solo scientifica ma anche economica (globalizzazione dei mercati);

- valorizzare il contributo della chimica analitica sul piano delle normative e delle leggi (leggi di controllo)

- sviluppare una trattazione delle tecniche strumentali che giustifichi un continuo aggiornamento nel processo formativo;

- fare comprendere come i sistemi reali per qualsiasi trattazione chimica (termodinamica o cinetica) sono diversi da

quelli simulati semplificati, per cui le reazioni non possono prescindere per la loro valutazione da quelle collaterali sempre presenti nei sistemi reali;

- fare acquisire l'importanza in un metodo analitico della sua caratterizzazione in termini di proprietà analitiche e di qualità del risultato fornito

TABELLAI

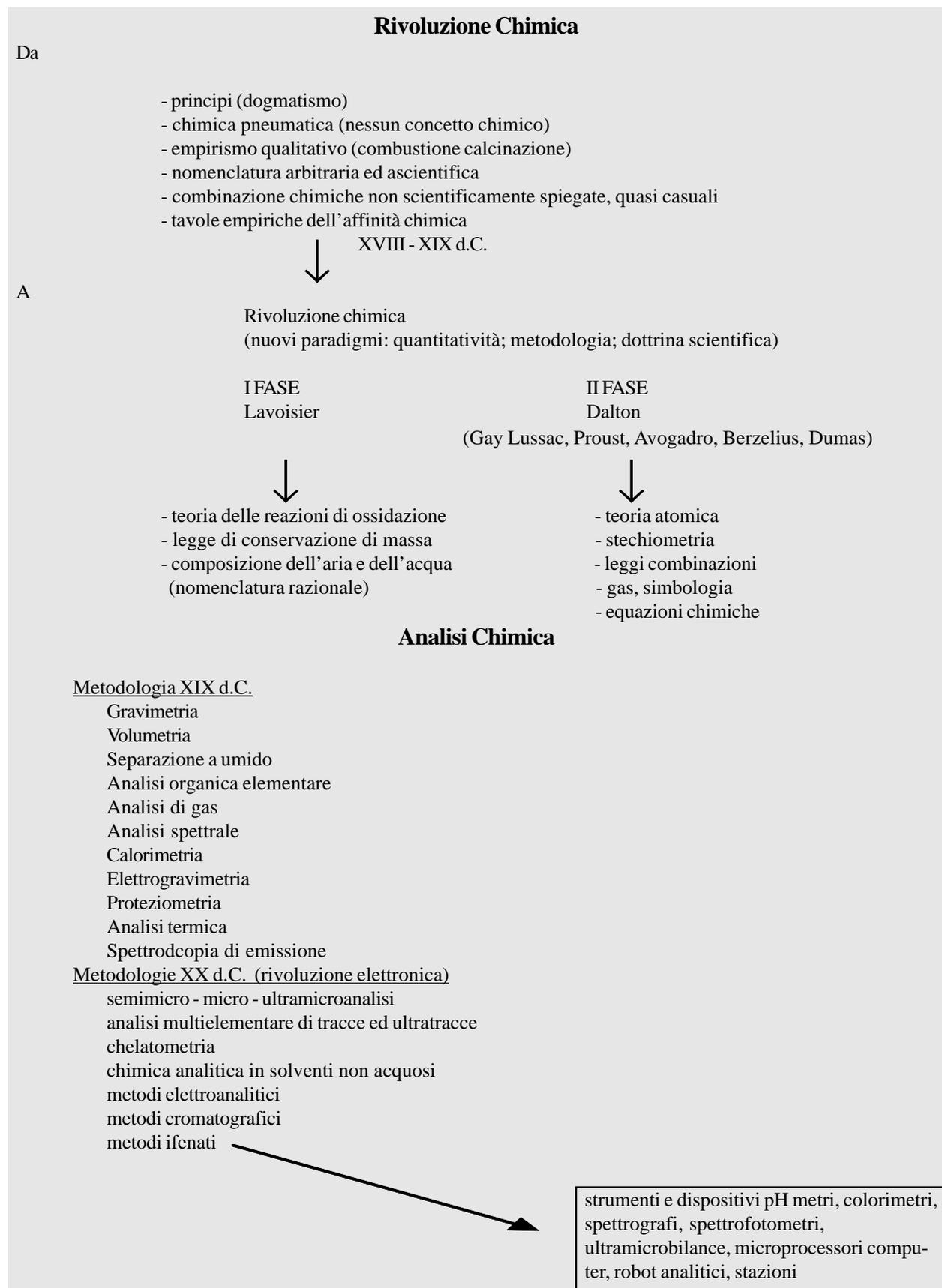


TABELLA II

**IMETODIPERACQUISIRE
LA CONOSCENZA**

DEDUTTIVO (Platone, Hegel)

Aristotele, Cartesio, Kant

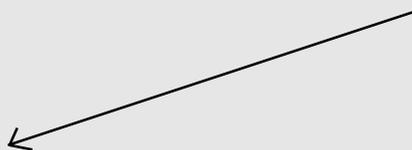
basato sulla conoscenza a priori
- sorgente della verità (Platone,
Hegel) - di certezze assolute (idee)
e di presupposti non discutibili
(assunzioni).

INDUTTIVO (Bacone)

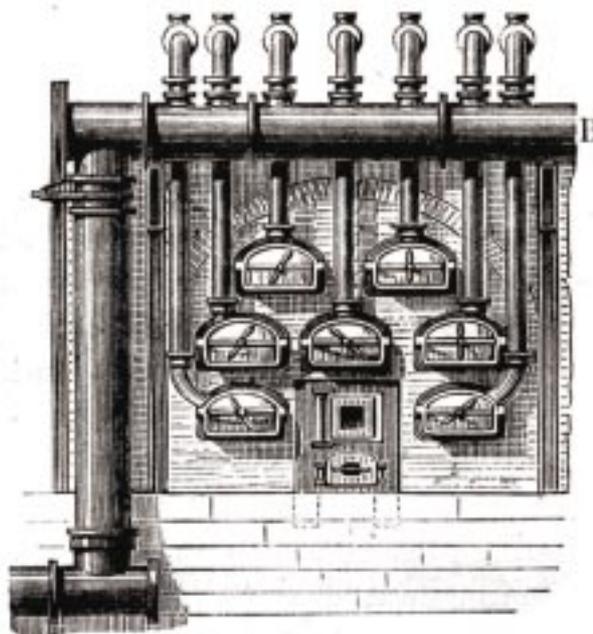
(Hume = utilitarismo ed empirismo
Mach = neopositivismo
Wittegenstein = positivismo logico
Schaeffer = evidenzialismo)

Dati come conoscenza oggettiva e registra-
ta, che può essere acquisita da ciascuno.
La teoria deve essere confermata ed allora
rappresenta la certezza assoluta

Persuasione dovuta alla evidenza



ciclo ripetuto:
evidenza
fatto
ipotesi
teoria



Four à gaz.

La concezione delle mappe concettuali per promuovere l'apprendimento significativo: Una intervista con Joseph D. Novak

LIBERATO CARDELLINI*

La carriera del professor Novak nell'insegnamento si estende per oltre quattro decenni; ora è professore emerito di Education e Biologia alla Cornell University, visiting senior scientist all'University of West Florida, Institute for Human and Machine Cognition, e presidente della Joseph D. Novak Knowledge Consultants, Inc. È autore di 26 libri; tra questi, *Learning how to learn* [1], tradotto in 9 linguaggi, di 29 capitoli in libri e di oltre 100 articoli pubblicati in riviste professionali. È consulente di alcune società, enti federali e di oltre 400 scuole e università negli U.S.A. e all'estero. Nel giugno 1995 il Professor Novak si è dimesso dall'insegnamento attivo alla Cornell per lavorare con grandi società nell'utilizzo delle mappe concettuali nel lavoro di ricerca e sviluppo (R & D) per la creazione e il trasferimento della conoscenza e delle informazioni nei vari settori della società. Continua ad insegnare come usare le mappe concettuali per catturare ed archiviare la conoscenza esperta. Ci si augura che questa intervista dischiuderà la sua conoscenza da esperto per i lettori.

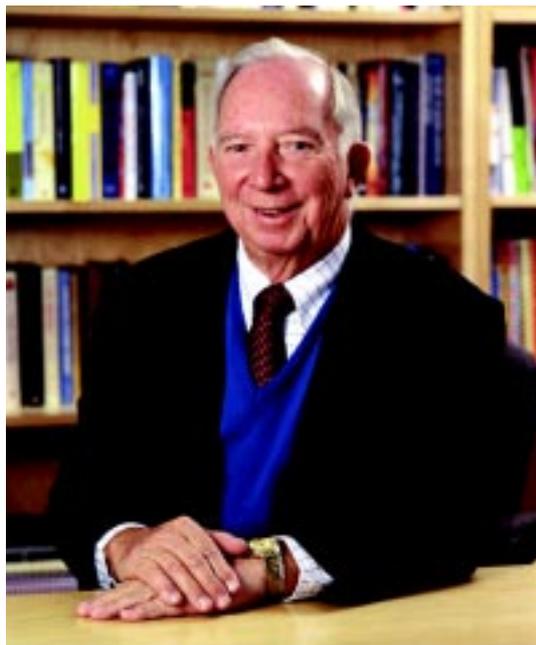
Insegnare alla gente come imparare sul serio può cambiare il mondo

1. Come e perché è diventato un insegnante?

Da bambino avevo sviluppato in qualche modo la convinzione che il mondo potrebbe diventare un posto migliore e volevo trovare una maniera per contribuire a realizzare questo desiderio. Pensavo che sarei potuto diventare un inventore, poiché armeggiavo sempre con le cose. Quando ho cominciato l'università, seguivo un corso di studi di matematica e consideravo il campo della formazione secondaria.

Ma al secondo anno, ho dovuto riconoscere che mentre avevo una *comprensione concettuale* delle scienze, la mia matematica si basava principalmente sulla *conoscenza procedurale* e non ho desiderato di provare a tornare indietro e imparare di nuovo la matematica da una prospettiva concettuale.

Così ho seguito l'addestramento per diventare un insegnante di scienze. Dopo un anno di internato nell'insegnamento delle scienze nella scuola secondaria, mi sembrava evidente che *il sistema* dell'istruzione era soffocante e un insegnante avrebbe avuto poca probabilità di cambiare il siste-



Joseph D. Novak

ma. Mi era stato offerto un posto come insegnante aggiunto nel Dipartimento di Botanica all'università del Minnesota ed ho accettato la nomina con entusiasmo.

Tuttavia, cresceva in me la convinzione che avrei potuto fare più "per cambiare il mondo" come insegnante che come botanico. Con grande delusione dei miei professori di botanica, ho scelto di fare gli studi di dottorato nella formazione, mentre continuavo a studiare per la laurea e facevo un po' di lavoro di ricerca nelle scienze, una necessità per continuare il mio rapporto con il dipartimento di botanica. L'insegnamento delle scienze all'università mi piaceva e benché frustrato da gran parte del lavoro nel corso di Education, persistevo nel mio obiettivo di provare a trovare maniere migliori per istruire la gente. Questo scopo continua ancora oggi nel mio insegnamento e nel lavoro di ricerca mentre provo a trovare vie migliori per aiutare la gente ad imparare come imparare.

2. Come e quando è nata l'idea delle mappe concettuali?

Uno dei miei primi obiettivi nella mia carriera era di condurre ricerche sulle modalità di apprendimento, in particolare quelle riferite all'apprendimento delle scienze. Al contrario delle convinzioni popolari del lavoro di Piaget che indicavano che i bambini non potevano operare col pensiero a livello "operativo formale", avevo notato, nei miei bambini

* Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Università Politecnica della Marche, 60131 Ancona; libero@univpm.it

e nei miei studi dei bambini della scuola elementare, evidenze che i bambini potevano afferrare ed usare concetti molto astratti, compresi alcuni concetti scientifici come l'energia e la natura della materia.

Ciò di cui avevano però bisogno era di istruzioni sistematiche che riguardavano questi concetti scientifici, con opportune esperienze guidate in modo appropriato e dell'introduzione attenta al linguaggio scientifico adatto. Abbiamo scelto di usare *istruzioni audio-tutoriali* [2] per insegnare i concetti di base delle scienze ai bambini delle classi 1 e 2 (età 6-8 anni). Abbiamo intervistato periodicamente questi bambini per osservare i cambiamenti nella loro comprensione dei concetti scientifici, comprese delle interviste occasionali fino al raggiungimento del grado 12 (età 17-18 anni).

Inoltre abbiamo seguito un gruppo di bambini delle stesse scuole che non avevano ricevuto le istruzioni audio-tutoriali nelle classi 1 e 2. È diventato presto evidente che eravamo sopraffatti dalle trascrizioni delle interviste ed era necessario trovare un metodo migliore per rappresentare la comprensione dei bambini e per osservarne i cambiamenti. Dopo avere riflettuto sul problema per alcune settimane, il nostro gruppo di ricerca è giunto all'idea di rappresentare la conoscenza ricavata dalle interviste come una struttura gerarchica di concetti e di proposizioni.

Così, sono nate nel 1972 ciò che abbiamo chiamato mappe concettuali. I dettagli dello studio, esteso per quasi 20 anni, dallo sviluppo iniziale delle lezioni alla pubblicazione finale, possono essere trovati nella letteratura [3].

Quando gli studenti che avevano ricevuto l'istruzione audio-tutoriali nelle classi uno e due sono stati paragonati agli studenti che non avevano ricevuto questa istruzione nelle prime classi, sono state trovate differenze molto significative della comprensione del concetto della natura particellare della materia e questa differenza cresceva nel corso dei dodici anni della loro istruzione.

3. Prima che discutiamo delle mappe concettuali, potrebbe chiarire che cosa intende con 'concetto' e spiegare come questo termine differisce dalle idee di altri autori?

Definisco i concetti come regolarità (pattern) percepite negli eventi o negli oggetti, o ricordi di eventi o di oggetti, indicate da un'etichetta (label). La maggior parte degli autori di altre forme di rappresentazione non hanno enunciato chiaramente le definizioni dei concetti o delle proposizioni che considero come i mattoni per la costruzione di tutta la conoscenza.

Anch'essi possono mostrare "i nodi" collegati ad altri "nodi", ma i collegamenti non sono identificati per mostrare il rapporto fra i due "nodi", gli elementi d'informazione nei nodi possono oppure no essere ciò che definisco concetti e non sono solitamente organizzati in modo gerarchico.

4. Le mappe concettuali come si rapportano ad altre forme di apprendimento?

Fin dal loro sviluppo iniziale nel 1972, le mappe concettuali sono state usate per rappresentare la conoscenza virtualmente in ogni campo degli studi [4], compresa la matematica, il ballo, la poesia, gli sport, la storia, ecc. Poiché credo che ogni forma di apprendimento sia radicata nelle strutture dei significati che l'individuo sviluppa, le mappe concettuali sono rilevanti per tutto l'apprendimento. Nell'ap-

In modo simile, l'apprendimento visivo – ad esempio come riconoscere gli uccelli, ricordare informazioni da foto, ecc. – viene facilitato se accompagnato da una adeguata comprensione concettuale; naturalmente anche le esperienze sia fisiche che visive possono aumentare la comprensione concettuale. Molti studi mostrano i vantaggi delle mappe concettuali in chimica [5-9] e nel laboratorio di chimica [10-13].

5. Quali relazioni esistono tra mappe concettuali e intelligenza?

Se "l'intelligenza" è definita come il punteggio ottenuto in un test scritto sul quoziente d'intelligenza, allora la qualità delle mappe concettuali si correla scarsamente con l'"intelligenza". Se "l'intelligenza" viene definita come capacità di applicare la conoscenza alla soluzione dei problemi in situazioni nuove, allora la qualità delle mappe concettuali si correla altamente con questo genere di "intelligenza" [14]. Una ragione per cui la gente può comportarsi intelligentemente in una certa area e stupidamente in un'altra è che l'intelligenza è limitata a quelle aree dove abbiamo sviluppato strutture ben organizzate di conoscenza ed anche di abilità metacognitive.

Che la gente differisca sia nella propria capacità innata che nelle esperienze necessarie a sviluppare tali strutture ed abilità in aree differenti conduce a ciò che Howard Gardner chiama "intelligenze multiple" [15]. Tuttavia, anziché le 7 o 8 "intelligenze" identificate da Gardner, ci sono probabilmente altrettante "intelligenze" quante sono le aree in cui gli individui possono sviluppare potenti strutture della conoscenza collegate con le abilità delle mani e degli occhi e ogni considerazione emozionale associata.

6. Le mappe concettuali come possono essere usate per mostrare ciò che lo studente sa?

Se vengono usate prima della lezione, le mappe concettuali possono mostrare la conoscenza che uno studente possiede, e ciò può servire per ancorare nuovi concetti e proposizioni. Le mappe concettuali possono anche rivelare le idee sbagliate che lo studente ha e che possono influenzare negativamente i nuovi concetti ad esse collegati.

La Figura 1 mostra una mappa concettuale disegnata dall'intervista con una bambina di sette anni e che tratta della natura della materia. Risulta che mentre Amy ha acquisito alcuni concetti di base e proposizioni, la sua conoscenza è anche sbagliata. Pensa che le molecole siano "comprimibili" in modo diverso secondo la successione aria > acqua > solido.

Crede scorrettamente che un campione di aria contenga più molecole di un campione di acqua ed identifica l'aria con l'odore (dalle palline di naftalina usate nell'intervista). Tuttavia, Amy ha acquisito della conoscenza dalle lezioni audio-tutoriali che ha studiato ed ha le basi per lo sviluppo di una conoscenza migliore sulla natura della materia.

Le mappe concettuali sono un sussidio nella costruzione dell'apprendimento

7. Può offrire suggerimenti utili per la costruzione delle mappe concettuali?

Abbiamo trovato che è utile cominciare identificando una "domanda focale" che ci guida nella costruzione della mappa circa un certo evento, argomento di un testo, o problema da risolvere. Per esempio, potremmo chiedere: Quali condizioni sono necessarie affinché l'acqua incominci a bollire? Poi identifichiamo (sia individualmente, che in gruppo) 15-20 concetti che siano pertinenti per rispondere a questa

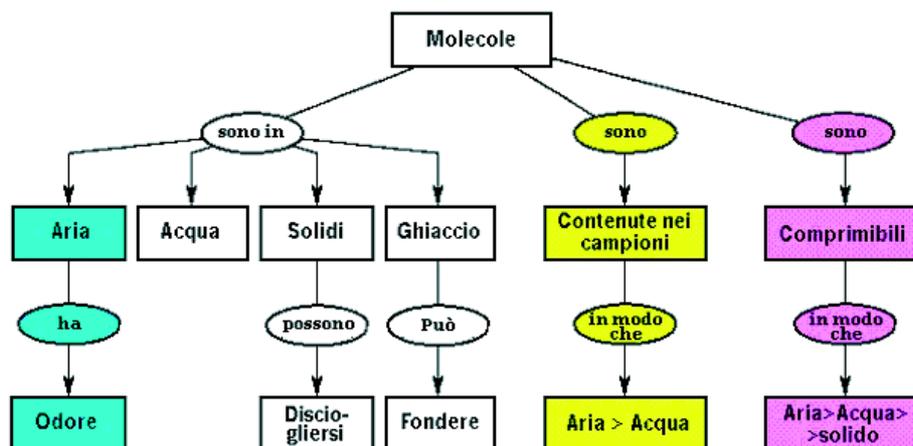


Figura 1. Mappa concettuale disegnata dall'intervista con Amy. Al tempo dell'intervista Amy aveva sette anni.

domanda e li ordiniamo dal più importante, più generale, a quello meno importante, più specifico. Cominciamo la mappa dal concetto generale e poi lo colleghiamo a due o tre concetti meno generali utilizzando parole adatte a formare delle proposizioni. Continuiamo ad aggiungere altri concetti e a costruire altre proposizioni, formando una gerarchia, ristrutturando la mappa mentre continuiamo ad aggiungere chiarezza e precisione alle proposizioni nella nostra mappa.

Infine cerchiamo i “collegamenti incrociati” o le relazioni fra i concetti presenti in sezioni differenti della mappa, dato che i collegamenti incrociati possono rivelare intuizioni che possono aiutare nel rispondere alla domanda focale. Mentre la mappa viene elaborata e ulteriormente raffinata possono essere ancora aggiunti altri concetti e proposizioni.

8. *Lei pubblicizza ampiamente le mappe concettuali; quanto sono realmente usate?*

Da quando, all'inizio degli anni 70, abbiamo segnalato del valore didattico delle mappe concettuali per l'insegnamento e l'apprendimento, c'è stato un processo lento, tuttavia sempre in aumento, di approvazione e di impiego delle mappe concettuali in libri di testo, guide di studio, libri sui metodi per insegnare e più recentemente in pubblicazioni che si occupano della conoscenza esperta, in ambienti governativi e in grandi organizzazioni aziendali. Uno di questi progetti è stato messo a punto dalla NASA ed è accessibile in linea all'indirizzo <http://cmex.arc.nasa.gov/CMEX/Map%20of%20Maps.html>. La descrizione di un altro progetto focalizzato sulla varietà degli usi delle mappe concettuali, promosso dalla marina degli Stati Uniti, è visibile in linea all'URL <http://www.ihmc.us/research/projects/Cmaps/>.

Il software CmapTools per costruire le mappe concettuali è disponibile gratuitamente (per impieghi non commerciali) all'URL <http://cmap.ihmc.us/>; questo software è stato scaricato da utilizzatori di oltre 140 paesi diversi.

Le mappe concettuali, specialmente se costruite usando il software CmapTools, sono ideali per l'apprendimento a distanza e vengono sempre più utilizzate in questi programmi, compresi i moduli di insegnamento a distanza usati dal personale della marina degli Stati Uniti.

L'apprendimento significativo è costruito e sostenuto

9. *Quali sono i vantaggi dell'apprendimento significativo, che lei distingue nettamente dall'apprendimento memonico?*

L'apprendimento a memoria è per definizione immagazzinamento arbitrario e non-sostanziale di conoscenza in una struttura cognitiva, senza lo sforzo da parte dello studente di integrare la nuova conoscenza con la conoscenza rilevante precedentemente acquisita. Questo genere di apprendimento può presentare alcuni vantaggi quando la valutazione richiede il richiamo letterale delle informazioni o di specifiche definizioni.

Poiché questo è spesso il caso in molta della valutazione fatta nella scuola, gli studenti tendono ad imparare a memoria. Soltanto l'apprendimento significativo richiede l'integrazione della nuova conoscenza con quella esistente e così soltanto l'apprendimento significativo può portare allo sviluppo di potenti strutture della conoscenza e rimediare alle idee sbagliate che possono esistere [16]. Soltanto l'apprendimento significativo permette il trasferimento di conoscenza in ambiti conoscitivi diversi e sostiene lo sviluppo progressivo di abilità nell'affrontare e nel risolvere nuovi problemi. Quest'ultima abilità è fondamentale nel mondo reale.

10. *Ho utilizzato questo strumento nel mio insegnamento e ho notato che alcuni studenti hanno difficoltà nel fare le mappe. Perché?*

Anche se per natura tendiamo ad apprendere in modo significativo, le pratiche della scuola incoraggiano troppo spesso ad imparare a memoria e molti studenti si abituano a questo tipo di apprendimento.

Fare mappe concettuali richiede che lo studente cerchi di sviluppare la comprensione dei concetti chiave e delle relazioni tra essi—di imparare in modo significativo. La ricerca ha mostrato che coloro che imparano a memoria all'inizio hanno difficoltà a fare questo, anche se non ho mai trovato una persona che non abbia potuto costruire delle buone mappe concettuali dopo un qualche tempo con istruzioni adatte, pratica e suggerimenti costruttivi. Il tempo richiesto per fare questo cambiamento varia con gli individui, tuttavia, con suggerimenti adatti, raramente sono ne-

cessarie più di tre o quattro settimane di pratica. Può aiutare l'utilizzo del software CmapTools, che permette la costruzione delle mappe concettuali sia individualmente che in gruppo, in modo sincrono o asincrono, sia nello stesso luogo che a distanza, ove esista un accesso ad Internet.

Abbiamo avuto studenti di scuole elementari di paesi lontani che lavoravano con successo per costruire mappe concettuali in collaborazione, condividendo non soltanto le conoscenze specifiche ma anche le differenze culturali che arricchiscono il processo di apprendimento [17].

La nuova tecnologia per la creazione delle mappe concettuali sviluppata all'University of West Florida, Institute for Human and Machine Cognition (<http://www.ihmc.us/>) permette la facile costruzione di migliori mappe concettuali, facilitando così l'apprendimento, l'acquisizione della conoscenza e la creazione e la condivisione delle loro strutture, particolarmente quando vengono utilizzate con Internet.

11. Lei ha coniato il termine "costruttivismo umano" (human constructivism). In che cosa differisce da altre forme di costruttivismo?

von Glasersfeld ha descritto ciò che ha chiamato "costruttivismo triviale" e "costruttivismo radicale" [18]. Il costruttivismo triviale riconosce che ogni persona che apprende deve costruire personalmente il significato della conoscenza; e quindi gli insegnanti non possono "dare" la conoscenza agli allievi. Fondamentalmente è un'idea psicologica.

Il "costruttivismo radicale" ritiene che la nostra interpretazione degli eventi e degli oggetti sia controllata dai concetti che già possediamo; dato che la conoscenza evolve col tempo, nuove risposte possono emergere dall'osservazione degli stessi eventi o oggetti. La storia della scienza è piena di tali esempi. Il costruttivista radicale non trova interesse quando si hanno tutte le risposte "giuste". Le idee del costruttivismo provengono dalla teoria della conoscenza e dovrebbero essere riconosciute in relazione con essa, ma anche distinte dal punto di vista psicologico.

Il mio "costruttivismo umano" cerca di fondere i due punti di vista riconoscendo che imparare in modo significativo richiede sia la costruzione individuale di nuova conoscenza sia l'avanzamento della comprensione in una disciplina che deriva dal progresso individuale e collettivo nello sviluppo di significati più completi e più parsimoniosi degli eventi e degli oggetti osservati. Inoltre, riconosco che i sentimenti (feelings) svolgono un ruolo importante nella ricerca del significato e che pensieri, sentimenti e azioni sono tutti coinvolti nel processo di costruzione di nuovo significato.

Poiché il mio punto di vista integra sia il processo psicologico di ricerca del significato che quello epistemologico della creazione di nuova conoscenza in una disciplina, vedo il "costruttivismo umano" come più completo e anche più parsimonioso delle altre forme di costruttivismo [19]. La Figura 2 riassume la mia teoria dell'istruzione in una mappa concettuale.

La nuova conoscenza deve essere concettualmente integrata

12. "Riconciliazione integrativa" e "apprendimento sovraordinato" sono alcuni termini utilizzati nei suoi scritti. Potrebbe chiarirne il significato?

Mentre l'apprendimento significativo progredisce e nuovi concetti e proposizioni vengono integrate nella struttura

conoscitiva, alle volte sorge qualche confusione che deve essere chiarita. Per esempio, uno studente può imparare che una mole di una certa sostanza è sempre formata dallo stesso numero di molecole, ma moli di composti differenti possono avere masse molto differenti. Lo studente deve integrare le idee di pesi atomici differenti, di numeri differenti di atomi in composti simili e quindi di pesi molecolari differenti per differenti, anche se simili, composti.

Mentre lo studente integra gradualmente i significati di peso atomico, peso molecolare, moli, volume molare e concetti ed esperienze ad essi collegati, forse anche con esperienze di laboratorio, avviene una riconciliazione integrativa e le distinzioni e le relazioni fra i suddetti concetti diventano chiari, i precedenti conflitti dei significati sono risolti e viene formata una struttura cognitiva coerente. È avvenuta la riconciliazione integrativa dei significati dei concetti e delle proposizioni ad essi collegati.

Gran parte dell'apprendimento significativo progredisce con il processo di *inclusione*, dove i concetti più generali, più astratti, includono gli esempi che illustrano differenti variazioni dello stesso concetto generale. Per esempio, quando si impara che l'acido solforico, l'acido acetico ed altri esempi di acidi sono tutti donatori dello ione idrogeno, caratteristica di ciò che chiamiamo un acido, questa sarebbe un'illustrazione di apprendimento inclusivo.

Alle volte, tuttavia, viene appreso un nuovo concetto più generale e più inclusivo e questo allora include i concetti esistenti in una struttura conoscitiva e conferisce loro nuovi significati.

Per esempio, quando viene introdotto il concetto di entropia per spiegare perché le reazioni chimiche procedono, si acquisisce anche l'idea che è richiesta energia per ridurre l'entropia, o per aumentare l'ordine in un sistema. Buona parte della chimica può essere spiegata dall'idea di entropia, si ha cioè l'apprendimento sovraordinato del concetto di entropia. Non è facile insegnare in un modo che risulti questo genere di apprendimento sovraordinato e molti studenti completano il primo corso di chimica senza acquisire questo concetto.

In un modo simile, molti studenti di biologia completano il corso di biologia soltanto con una vaga idea del significato di evoluzione, anche se durante il corso il concetto viene richiamato da vari punti di vista. Una delle sfide che affrontiamo nelle scienze è aiutare gli studenti a capire le poche dozzine di concetti veramente sovraordinati che possono conferire un significato più profondo alle migliaia di concetti secondari che sono insegnati. Le mappe concettuali hanno dimostrato di facilitare l'apprendimento dei concetti sovraordinati [20].

L'apprendimento significativo risolve il paradosso dell'apprendimento

13. Come può la sua teoria aiutare a risolvere il "paradosso dell'apprendimento" [21]?

Più di duemila anni fa, il filosofo Greco Zenone ha riconosciuto che ciò che possiamo imparare dipende da ciò che sappiamo. Ma se questo è vero, come possiamo imparare nuove cose? Questo è ciò che è conosciuto come il "paradosso di Zenone".

Ciò che Zenone non considera è che gli esseri umani possono vedere nuove regolarità negli eventi e negli oggetti, o nei ricordi di eventi o di oggetti, e che possono usare il linguaggio per identificare queste regolarità e per collegarle ad altre regolarità.

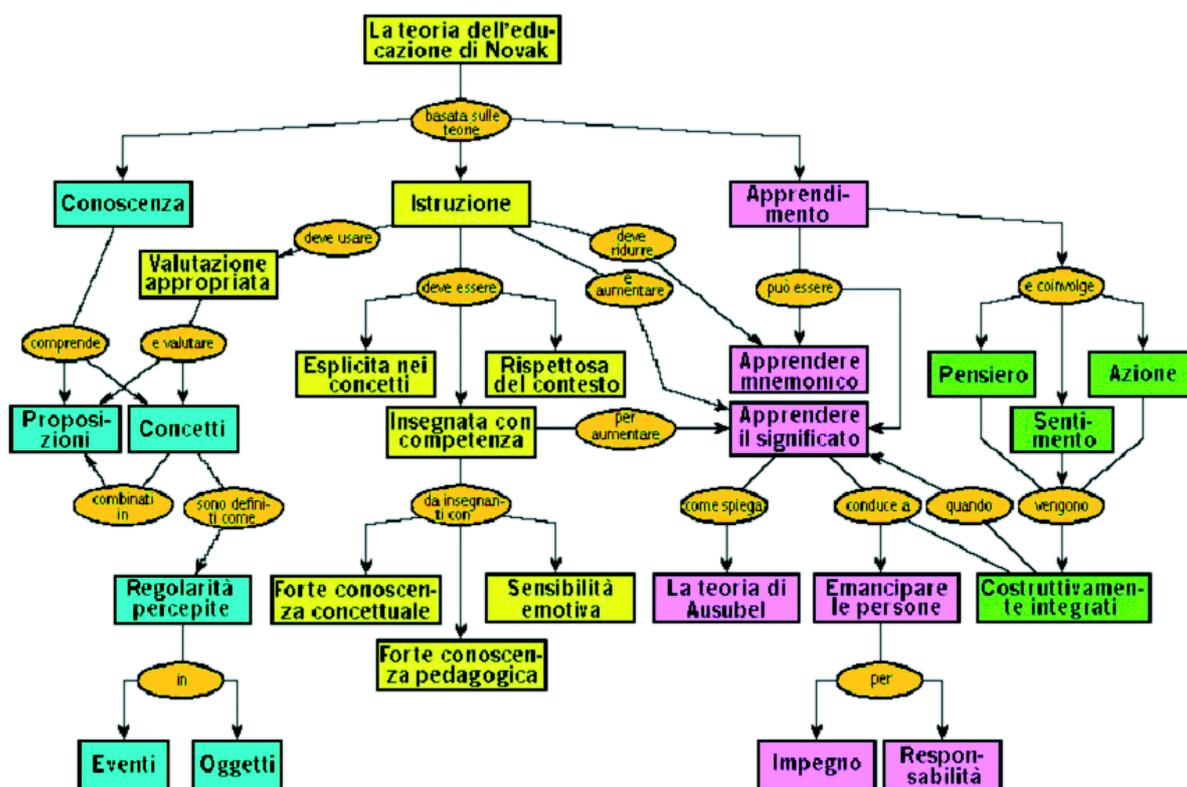


Figura 2. La teoria dell'apprendimento di Novak riassunta in una mappa concettuale.

In breve, non è riuscito a capire come ciò che Ausubel chiama “l'apprendimento per scoperta” [22], può condurre alla formazione di nuovi concetti ed effettivamente questo è il processo con cui i bambini piccoli acquisiscono i loro primi concetti.

Una volta che una struttura di concetti elementari si è sviluppata, questa può essere usata per acquisire nuovi concetti e significati proposizionali. Ecco perché abbiamo le scuole e le università. Zenone - e troppe altre persone - non hanno capito il processo di apprendimento significativo.

Le mappe concettuali sono utili anche nel mondo degli affari

14. Lei lavora anche con grandi società. Quali sono le analogie fra la scuola e l'industria?

Come ho precisato in un mio libro [23], le grandi società devono mettere in grado i loro dipendenti di migliorare nell'apprendimento significativo. C'è una grande pressione concorrenziale globale affinché le multinazionali cambino la maniera in cui fanno le cose, ma io ed altri abbiamo trovato che le aziende possono essere resistenti alle nuove idee e metodi quanto le scuole e le università.

Tuttavia, credo che alcune aziende ritengono che possa derivare del profitto dal mettere in grado i propri dipendenti di usare queste idee e questi strumenti. Ciò potrebbe costituire un modello e diffondersi velocemente, data la natura di concorrenza globale e di nuove possibilità tecnologiche per la comunicazione di queste idee.

Il lavoro che attualmente stiamo facendo con l'industria dell'energia elettrica può servire da modello per l'uso efficace delle mappe concettuali nelle grandi società per la rappresentazione della conoscenza esperta, per lo svilup-

po di migliori programmi di formazione (non addestramento) per facilitare l'applicazione creativa della conoscenza.

15. Perché le multinazionali trovano così utili le mappe concettuali?

Virtualmente tutto il lavoro nelle grandi società viene fatto da persone che lavorano in gruppo. Uno dei problemi che hanno i gruppi è quello di acquisire una visione comune su ciò che costituisce il problema e una sua comprensione concettuale condivisa. La mia esperienza con le multinazionali e anche con enti governativi, è che le mappe concettuali possono essere enormemente utili per realizzare questa comprensione comune.

Come dico nella mia teoria della formazione, “l'apprendimento significativo è il risultato dell'integrazione costruttiva del pensiero, dei sentimenti e dell'azione conducendo alla consapevolezza per l'impegno e la responsabilità”. Poiché questo determinerà nel prossimo futuro il successo o il fallimento delle aziende, le multinazionali ci possono aiutare ad introdurre le stesse idee ed azioni nelle scuole e nelle università.

Esiste un enorme divario fra ciò che ora sappiamo circa le strategie per migliorare l'apprendimento (e l'uso della conoscenza) e le pratiche attualmente utilizzate nella maggior parte delle scuole e delle aziende. Sono in corso progetti molto promettenti che possono contribuire a realizzare degli avanzamenti accelerati. Questi includono i progetti in scuole di tutti i gradi dell'istruzione in Colombia, Costa Rica, Italia, Spagna, Stati Uniti e i progetti di collaborazione con organizzazioni multinazionali e progetti di apprendimento a distanza.

Fin'ora i risultati sono stati incoraggianti e suggeriscono che forse ci stiamo muovendo da una fase di ritardo nell'innovazione educativa verso una fase di sviluppo esponenziale.

Gli studenti possono costruire l'apprendimento significativo usando le mappe concettuali

Come Novak ha sottolineato in questa intervista, le mappe concettuali sono strumenti per l'organizzazione delle informazioni in modo da favorire ad un livello profondo l'integrazione della conoscenza. Gli studenti che le usano, acquisiscono un apprendimento significativo, interconnesso e, in aggiunta, "imparano come imparare" più efficacemente. Le mappe concettuali aiutano gli studenti a dare significato a ciò che stanno tentando di imparare.

Joseph Novak, con il suo lavoro di ricerca lei ha dimostrato che l'istruzione può essere migliorata con l'uso delle mappe concettuali e questa tecnica sta incominciando ad avvantaggiare gli studenti su una scala sempre più grande. È stato un onore per me poter condividere i suoi punti di vista e le sue intuizioni. A nome della comunità di quanti sono impegnati nella formazione, desidero ringraziarla per questa intervista.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare George M. Bodner della Purdue University, West Lafayette, Indiana, Alex H. Johnstone dell'University of Glasgow, Scotland, Ernst von Glasersfeld dell'University of Massachusetts, Amherst, MA, Richard J. Shavelson, della Stanford University, Stanford, California, per i consigli e i suggerimenti che mi hanno fornito per migliorare le domande per questa intervista e per l'assistenza durante l'intervista.

Bibliografia

- [1] J. D. Novak, D. B. Gowin, *Learning How To Learn*, Cambridge University Press: New York, 1984. Traduzione ital.: *Imparando a imparare*, Società Editrice Internazionale: Torino, 1997.
- [2] S. N. Postlethwait, J. D. Novak, H. T. Jr. Murray, *The Audio-Tutorial Approach to Learning*, 3rd ed.; Burgess: Minneapolis, MN, 1972.
- [3] J. D. Novak, D. Musonda, *American Educational Research Journal*, **1991**, 28, 117–153.
- [4] J. D. Novak, *Journal of Research in Science Teaching*, **1990**, 27, 937–949.
- [5] J. D. Novak, *Journal of Chemical Education*, **1984**, 61, 607–612.
- [6] J. Cullen, *Journal of Research in Science Teaching*, **1990**, 27, 1067–1068.
- [7] B. Ross, H. Munby, *International Journal of Science Education*, **1991**, 13, 11–23.
- [8] J. M. Wilson, *Journal of Research in Science Teaching*, **1994**, 31, 1133–1147.
- [9] A. Regis, P. G. Albertazzi, E. Roletto, *Journal of Chemical Education*, **1996**, 73, 1084–1088.
- [10] M. Stensvold, J. T. Wilson, *Journal of Chemical Education*, **1992**, 69, 230–232.
- [11] B. D. Pendley, R. L. Bretz, J. D. Novak, *Journal of Chemical Education*, **1994**, 71, 9–15.
- [12] M. Nakhleh, *Journal of Chemical Education*, **1994**, 71, 201–205.
- [13] P. G. Markow, R. A. Lonning, *Journal of Research in Science Teaching*, **1998**, 35, 1015–1029.
- [14] P. A. Okebukola, *Educational Psychology*, **1992**, 12, 113–129.

- [15] H. Gardner, *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences* (with a new introduction by the author), 10th anniversary ed.; Basic Books: New York, 1993.
- [16] J. D. Novak, *Science Education*, **2002**, 86, 548–571.
- [17] A. J. Cañas, K. M. Ford, J. D. Novak, P. Hayes, T. R. Reichherzer, N. Suri, *The Science Teacher*, **2001**, 68, 49–51, April.
- [18] C. D. Smock, E. von Glasersfeld, *Epistemology and Education—The Implications of Radical Constructivism for Knowledge Acquisition*, The University of Georgia Mathemagenics Program: Athens, Georgia, 1974; Research Report 14.
- [19] J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, J. D. Novak, Eds. *Teaching Science for Understanding: A Human Constructivist View*; Academic Press: San Diego, CA, 1998; Portuguese Edition, Platano Edicoes Tecnicas: Lisboa, 2000; J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, J. D. Novak, Eds. *Assessing Science Understanding: A Human Constructivist View*; Academic Press: San Diego, CA, 2000; Chapter 13.
- [20] J. F. Jr. Cullen, *Concept Learning and Problem Solving: The Use of the Entropy Concept in College Teaching*. Doctoral dissertation, Cornell University, Ithaca, NY, 1983.
- [21] J. Pascual-Leone, *Constructive Problems for Constructive Theories: The Current Relevance of Piaget's Work and a Critique of Information Processing Simulation Psychology*. In *Developmental Models of Thinking*, Kluwe R., Spada H., Eds.; Academic Press: New York, 1980; p 284.
- [22] D. P. Ausubel, *Educational Psychology, A Cognitive View*; Holt, Rinehart and Winston, Inc.: New York, 1968.
- [23] J. D. Novak, *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations*; Lawrence Erlbaum Associates: Mahwah, NJ, 1998.

Lavoro già pubblicato sulla rivista **IS Informatica & Scuola**, n. 3-4, anno XIII (novembre 2005 – gennaio 2006) con il titolo "Joseph Novak racconta". L'articolo è reperibile anche sul sito www.iwn.it, dal quale può essere liberamente scaricato in formato .pdf

Traduzione autorizzata dal *Journal of Chemical Education*, Vol. 81, No. 9, 2004, pp. 1303-1308.

La struttura gerarchica della chimica di base

EZIO ROLETTO*
ALBERTO REGIS**
MARCO GHIRARDI[°]

Riassunto

In questo articolo, la struttura gerarchica della chimica di base viene considerata alla luce dell'idea di rivoluzione scientifica di Kuhn. Ammettendo che la chimica sia passata attraverso tre grandi fasi rivoluzionarie, vengono individuati tre diversi registri di concettualizzazione: quello macroscopico, quello microscopico atomico/molecolare e quello nucleoelettronico. Si discute poi l'attribuzione ai diversi registri dei concetti di sostanza, atomo/molecola ed elemento al fine di segnalare le palesi inesattezze concettuali che portano a confondere il concetto di elemento con quello di sostanza semplice o con quello di atomo, inesattezze che contribuiscono ad ingenerare negli studenti pericolose confusioni.

Abstract

In this article the hierarchical logic of the concepts of substance, molecule, atom and element is discussed. According to Kuhn's idea of «scientific revolution», three chemical revolutions are identified and related to three conceptual level: macroscopic (substances), microscopic (molecules and atoms) and submacroscopic (electrons and nuclei). The pervasive use of the term «element» as both a synonym for the term «simple substance» and «atom» is discussed and the learning difficulties caused by this confusion are pointed out.

1 INTRODUZIONE

In tutti i libri di testo per l'insegnamento della chimica di base vengono introdotte le entità fondamentali della disciplina: sostanze (semplici e composte), molecole, atomi, elementi, elettroni, nuclei, protoni, neutroni. Tali entità sono organizzate, in modo esplicito o in modo implicito, in una struttura gerarchica [1] che comporta tre livelli o registri: quello macroscopico delle sostanze, quello microscopico atomico/molecolare delle molecole e degli atomi, quello microscopico subatomico dei componenti dell'atomo. (Figura 1).

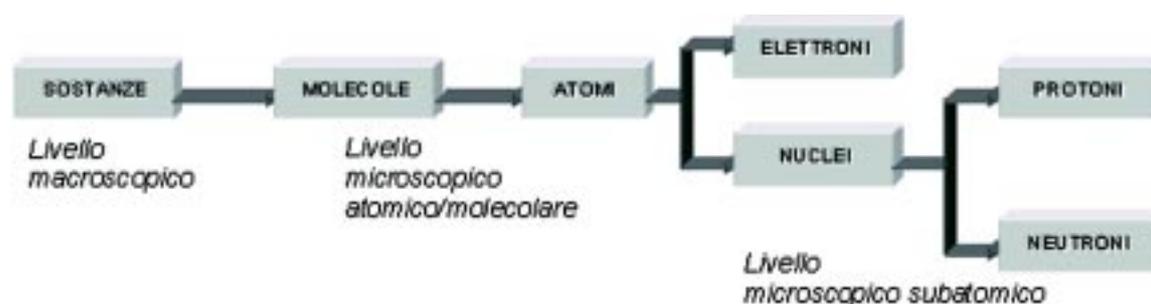


Figura 1 - La struttura gerarchica delle specie chimiche normalmente adottata dai libri di testo

Gruppo IRiDiS (Innovazione e Ricerca per la Didattica delle Scienze) - Università di Torino

*Dipartimento di Chimica Analitica.

E-mail: ezio.roletto@unito.it

**Istituto Tecnico Industriale Statale "Q.Sella" di Biella.

E-mail: reg.al@aliceposta.it

[°] Istituto Tecnico Industriale Statale "Q.Sella" di Biella.

E-mail: marco150@supereva.it

Le sostanze sono costituite di molecole; le molecole, a loro volta, sono costituite di atomi; gli atomi sono costituiti di particelle subatomiche: elettroni, protoni e neutroni; le ultime due costituiscono il nucleo dell'atomo. Come è facile notare, nella struttura gerarchica della figura 1 manca una delle entità chimiche fondamentali: l'elemento. Ciò dipende dal fatto che il concetto di elemento assume nei libri di testo, e nel pensiero della stragrande maggioranza degli insegnanti, uno statuto ambiguo, non ben definito. Per alcuni, elemento e sostanza semplice sono sinonimi, tanto è vero che nella maggior parte dei libri si trova un capitolo

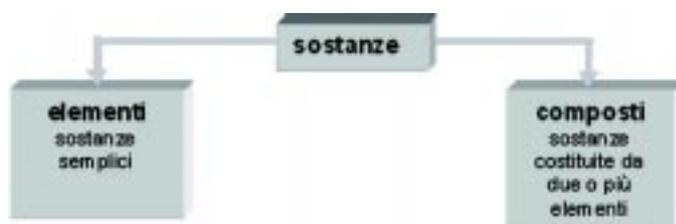
o un sottocapitolo intitolato: *Elementi e composti*. Questa è la concezione che risulta evidente nelle citazioni che seguono, tratte da testi pubblicati negli ultimi quindici anni:

*Dobbiamo ammettere allora che esistono due tipi di sostanze pure: quelle che si lasciano ulteriormente decomporre e quelle che invece non lo fanno. Le prime si chiamano **composti**, le seconde **elementi**.* [2]

*Quando si porta all'incandescenza dell'ossido di mercurio, una polvere di color rosso, si ottengono delle gocce lucenti, di aspetto metallico, e un gas capace di mantenere la combustione, che non si riescono a scindere ulteriormente. Queste sostanze sono **elementi**: il gas che si libera è l'elemento chimico ossigeno, la sostanza che forma goccioline lucenti è l'elemento chimico mercurio. **In generale, si chiamano elementi chimici o semplicemente elementi, le sostanze più semplici che non si possono ulteriormente scindere.*** [3]

*Un **composto** è una sostanza che, sottoposta a particolari trattamenti chimici, si può decomporre in due o più sostanze più semplici. Un **elemento** è una sostanza che non può essere decomposta in sostanze più semplici, qualunque sia il trattamento chimico a cui venga sottoposta.* [4]

*Le sostanze che sono scomponibili in altre sostanze si chiamano **composti**, mentre quelle che non sono scomponibili in altre sostanze sono chiamate **elementi**.* [5]



*Pertanto, se una sostanza pura è decomponibile in sostanze più semplici è un **composto**.*

*Si definisce **composto** una sostanza pura che può essere scomposta in due o più sostanze più semplici.*

*Quando, invece, una sostanza pura non è in alcun modo decomponibile in sostanze più semplici è un **elemento**.*

*Si definisce **elemento** una sostanza pura che non può essere scomposta in sostanze più semplici.* [6]

Per altri, sono sinonimi elemento e atomo:

*Il numero di **atomi di tipo diverso** che si conoscono non è affatto grande: se ne conoscono a tutt'oggi 109, ognuno contraddistinto da un nome ben preciso. Ogni distinto tipo di atomo corrisponde, in termini chimici, ad un **elemento**.* [7]

78 *Una sostanza pura viene detta **semplice** se gli atomi che concorrono a formare ciascuna molecola sono uguali fra loro; per esempio, l'ossigeno, l'ozono, lo zolfo ecc., sono sostanze semplici perché sono formate da aggregati di molecole a loro volta costituite da atomi uguali fra loro; una sostanza pura viene invece detta **composta** se gli atomi che concorrono a formare ciascuna molecola sono diversi fra loro; per esempio, l'acqua, lo zucchero,*

l'ammoniaca, l'acido solforico ecc., sono sostanze composte perché formate da aggregati di molecole che a loro volta sono costituite da atomi diversi fra loro. [8]

Possiamo legittimamente chiederci chi fornisca informazioni corrette; chi ritiene elemento sinonimo di sostanza semplice, chi afferma che elemento è sinonimo di atomo, entrambi o nessuno dei due? Per rispondere a questi interrogativi dovremo prendere in considerazione la storia della chimica e analizzare l'evoluzione di alcuni concetti nel corso di circa due secoli. Per ora limitiamoci a constatare che, nella gerarchia rappresentata in figura 1, la relazione tra sostanza semplice, molecola e atomo è quella introdotta da Stanislao Cannizzaro verso il 1860 e così esposta da Mendeleev [9] nel 1871:

Anche se, fino a Laurent e Gerhardt, i termini molecola, atomo, equivalente sono stati usati indifferentemente uno al posto dell'altro, e anche se oggi confondiamo spesso le espressioni sostanza semplice ed elemento, tuttavia, ciascuna di esse ha un significato ben preciso, che è importante precisare per evitare confusioni tra i termini usati in filosofia chimica. Una sostanza semplice è qualcosa di materiale, metallo o metalloide, dotato di proprietà fisiche e che mostra determinate proprietà chimiche. All'espressione sostanza semplice corrisponde l'idea di molecola. (...) Bisogna riservare, al contrario, il termine elemento per caratterizzare le particelle materiali che formano le sostanze, e che determinano il loro comportamento dal punto di vista chimico e fisico. Il termine elemento richiama l'idea di atomo.

Mendeleev postula chiaramente due livelli o registri di concettualizzazione per descrivere la materia: quello macroscopico, al quale appartengono le sostanze, e quello microscopico al quale assegna molecole e atomi. Egli distingue nettamente non soltanto l'idea di sostanza semplice da quella di elemento, ma anche il concetto di elemento da quello di atomo, tanto è vero che nel 1898, scriveva: [10]

La denominazione di sostanze semplici deve essere riservata a quelle contenenti soltanto un elemento qualunque, mentre composte devono essere chiamate quelle che ne contengono due o più...Le sostanze semplici, come tutti i corpi in natura, sono formate di particelle: tutta la loro differenza rispetto alle sostanze composte consiste unicamente nel fatto che le particelle di queste ultime contengono atomi eterogenei di due o più elementi, mentre quelle delle sostanze semplici soltanto atomi omogenei di un dato elemento... L'idea principale, con la quale si può giungere a spiegare la legge della periodicità, consiste proprio nella differenza radicale dei concetti di elemento e di sostanza semplice.

... [gli elementi] non vanno soggetti a varietà e trasformazioni reciproche e appaiono, stando almeno alle attuali risultanze, l'essenza immutabile di una sostanza che invece muta (sotto il profilo chimico, fisico e meccanico), essenza che entra a far parte sia dei corpi semplici sia di quelli composti. Questa concezione ci presenta gli elementi chimici come qualcosa di astratto, dato che non siamo in grado in particolare né di vederli, né di sapere alcunché relativamente ad essi."

Mendeleev non aveva alcuna idea della struttura dell'atomo; per distinguere l'elemento sia dalla sostanza semplice sia dagli «atomi omogenei» che la costituiscono, si richiama ad un concetto filosofico, quello di «essenza». Quando afferma che si deve considerare l'elemento come «l'essenza immutabile di una sostanza» usa un'espressione che richiama il titolo di un'opera di Tommaso D'Aquino (1221-1274) «*De ente et essentia*¹ (Dell'ente e dell'essenza)» dove, per un chimico, l'ente (ossia l'essere) sarebbe la sostanza e l'essenza sarebbe l'elemento.

L'evoluzione delle conoscenze che si è prodotta nel corso del XX secolo permette di attribuire al concetto di elemento un significato coerente con il paradigma oggi dominante nei saperi relativi alla struttura della materia. L'analisi dei diversi significati assunti nel corso del tempo dalla nozione di elemento risulta particolarmente interessante alla luce dell'idea di «rivoluzione scientifica» proposta da Kuhn. [11]

2 LE RIVOLUZIONI SCIENTIFICHE

Thomas Kuhn sostiene che per comprendere la natura e lo statuto della scienza occorre richiamarsi alla storia delle scienze. Secondo Kuhn, ogni teoria scientifica contiene un nocciolo duro, ossia una parte che non può essere rimessa in discussione senza rinunciare alla teoria stessa: egli usa il termine «paradigma» e afferma che ogni scienza lavora, più o meno implicitamente, nel quadro di un certo paradigma. Il paradigma nel quale lavorano gli scienziati influenza anche il loro modo di percepire la natura. I sostenitori di paradigmi diversi vivono, in un certo qual senso, in mondi diversi. Kuhn cita come prova il fatto che gli astronomi europei cominciarono a notare, catalogare e discutere alcuni fenomeni celesti soltanto dopo avere preso conoscenza della teoria di Copernico. In precedenza, il paradigma aristotelico postulava che nessun mutamento potesse prodursi nel mondo sopralunare, ritenuto immutabile: di conseguenza, nessun cambiamento era stato notato. Gli astronomi delle civiltà precolombiane e cinesi avevano osservato la supernova del 4 luglio 1054, della quale gli studiosi europei non fanno alcun cenno. La supernova del 11 novembre 1572, successiva alla teoria di Copernico, fu invece notata da Tycho Brahe e da altri astronomi: era cambiato il paradigma. La supernova del 23 febbraio 1987 è stata osservata in tutto il mondo e ha permesso di confermare la presenza dei neutrini, particelle di cui i fisici avevano previsto l'esistenza.

Lo schema che Kuhn propone per l'evoluzione delle scienze è il seguente:

prescienza → *scienza normale* → *crisi* → *rivoluzione* →
→ *nuova scienza normale* → *nuova crisi* → *ecc.*

Kuhn parte da una constatazione storica. Quando un paradigma è dominante, come lo fu nel corso di due secoli il paradigma di Newton in fisica, è molto difficile che venga confutato e respinto. I fatti che contraddicono il paradigma non sono considerati come confutazioni che lo mettono in crisi, ma come anomalie. La scienza è costruita dagli esseri umani, dice Kuhn, i quali non sono disposti a cambiare idea tutte le volte che un esperimento fornisce un risultato strano, non previsto e non prevedibile nel contesto del

paradigma. Ciò anche perché potrebbe accadere che, in alcuni casi, l'anomalia rilevata non sia un'effettiva evidenza sperimentale in disaccordo con il paradigma dominante, ma un artefatto imputabile all'apparato strumentale utilizzato oppure un banale errore del ricercatore. Se, nell'ambito delle discussioni tra scienziati, è possibile inquadrare il nuovo evento in un modello, ulteriore o più avanzato, che ne renda intelligibile il significato, allora è probabile che si realizzino le condizioni per l'avvio di una crisi della «scienza normale». Inoltre, Kuhn sostiene l'importanza del contesto sociale nel quale la scienza evolve. Per esempio, spesso uno scienziato non ha alcun interesse, dal punto di vista della propria carriera, ad opporsi al paradigma dominante; si tratta infatti di un complesso di idee che raccoglie il consenso di membri influenti della comunità scientifica. Per mettere in discussione il paradigma dominante, l'elenco delle anomalie deve essere lungo; quando queste cominciano ad essere troppo numerose e non è più possibile fare finta di niente, la scienza normale (quella del paradigma dominante) entra in crisi. Sovente, è uno scienziato giovane a prendere l'iniziativa di proporre un nuovo paradigma: si veda l'esempio di Einstein. Questi incontra resistenze anche notevoli, perché la comunità scientifica non cambia idea dalla sera al mattino, anche perché, secondo Kuhn, quando due paradigmi entrano in competizione la discussione non si colloca soltanto al livello degli esperimenti e dei risultati, ma anche al livello della «credenza» in un paradigma. La maggior parte dei sostenitori del vecchio paradigma non cambia facilmente idea; ciò non dipende dal fatto che essi rifiutano di riconoscere le prove sperimentali che vengono portate a sostegno del nuovo paradigma, ma dal fatto che le prove non sono tali se non associate al nuovo paradigma. Nel contesto del vecchio paradigma, le prove non sono affatto leggibili: si parla allora di paradigmi incommensurabili e si sostiene che è come se i sostenitori dei due paradigmi a confronto vivessero in due mondi diversi.

Kuhn ha aperto la strada ad una dimensione sociologica dei saperi scientifici, ma la sua idea della loro evoluzione per «rivoluzioni» lascia insoddisfatti gli storici della scienza che, come scrive Stephen Shapiro [12], si sentono sempre più a disagio di fronte alla categoria di rivoluzione scientifica così come viene solitamente intesa. Essi ritengono che vi siano sempre nella scienza tentativi di mutare le opinioni e le modalità di legittimare queste opinioni sulla realtà, ma sono pure dell'avviso che non si può sostenere che il mutamento si produca in un determinato momento. Le teorie e le pratiche nuove vengono prese in considerazione soltanto quando diventano significative per un gruppo particolare di ricercatori. Contrariamente a quanto sostiene Kuhn, le teorie scientifiche possono sovrapporsi, tanto è vero che all'inizio del XX secolo la fisica si sviluppa in base a due paradigmi completamente differenti: da una parte, Einstein con le idee sulla relatività e, dall'altra, Planck e la meccanica quantistica. Si ritiene oggi che i cambiamenti di paradigma che si verificano nell'ambito delle scienze siano la conclusione rapida di un periodo di lunga incubazione delle nuove idee, durante il quale teorie diverse convivono l'una a fianco dell'altra. Questo significa che, quando si parla di rivoluzione scientifica, si intende un fenomeno sociale di lunga gestazione che è caratterizzato da almeno uno dei seguenti eventi:

1. Una reinterpretazione radicale delle idee esistenti.
2. La conclusione di una lunga discussione con la propo-

¹ Breve trattato che uno degli autori (E.R.) portò all'esame di maturità del 1957 per discuterne il contenuto con il commissario di filosofia.

sta di una soluzione che mette gli scienziati in condizione di porsi problemi di tipo nuovo rispetto a quelli affrontati in precedenza.

3. Il passaggio a un livello concettuale di comprensione superiore al precedente; nel nuovo contesto concettuale, le vecchie teorie costituiscono casi particolari di quelle nuove e più ampie.

Nel complesso le affermazioni precedenti indicano che, nel passaggio da un paradigma all'altro, si producono, ad un tempo, soluzioni di continuità nette rispetto alla tradizione (*rottura epistemologica*) e mutazioni lente che assomigliano ad un «processo evolutivo» (*accomodamento epistemologico*) di tipo biologico. L'interpretazione del modo con cui si passa da un paradigma scientifico ad un altro deve tener conto di un complesso di eventi ed idee che interagiscono, anche in modo marcatamente conflittuale, fino a quando non si integrano tra loro in una struttura omogenea per coerenza e rigore, dotata di un potere interpretativo e soprattutto di un potere previsionale superiore a quello del paradigma precedente. In altre parole, il nuovo paradigma non soltanto deve permettere di interpretare i fenomeni non spiegati dal precedente, ma soprattutto deve aprire nuovi campi di ricerca e quindi permettere di costruire nuovi saperi.

3 LE RIVOLUZIONI DELLA CHIMICA E I REGISTRI DI CONCETTUALIZZAZIONE

Con questi punti di riferimento a disposizione, Jensen [13] propone di identificare nel corso dell'evoluzione della chimica, tre rivoluzioni scientifiche.

3.1 - La prima rivoluzione della chimica

La prima rivoluzione della chimica moderna viene unanimemente attribuita alle ricerche di Lavoisier sulla combustione. La spiegazione che egli propose, basata sul ruolo del gas che denominò *ossigeno*, ebbe come conseguenza l'abbandono della teoria del flogisto che venne sostituita da quella dell'ossigeno. Tuttavia, il vero significato

della rivoluzione di Lavoisier non sta tanto nella revisione del modello esplicativo della combustione e della respirazione - che egli assimilò ad una combustione lenta - quanto piuttosto nelle implicazioni generali del suo lavoro e cioè sul concetto di composizione chimica delle sostanze a livello macroscopico. Jensen riassume nello schema di figura 2 i fattori che contribuirono alla prima rivoluzione chimica.

Si tratta di idee che furono proposte in un arco di tempo abbastanza ampio e che già nella seconda metà del XVII secolo produssero un cambiamento significativo nell'atteggiamento dei chimici nei confronti della natura e della funzione della chimica. Si può infatti ritenere che la pubblicazione del libro di Boyle *The Sceptical Chymist* (1662) segni il passaggio da una concezione della chimica come pratica esoterica (come nel caso dell'alchimia) o come complemento pratico all'esercizio della medicina, ad una concezione come scienza formale della materia e delle sue trasformazioni.

Quindi, la prima rivoluzione chimica riguarda il livello di concettualizzazione macroscopico, ossia la spiegazione empirica dei fenomeni: si prendono in considerazione le sostanze (i corpi, come li chiama Lavoisier) e si studiano le loro trasformazioni chimiche. In questo contesto, il termine «elemento» viene usato come sinonimo di «sostanza semplice» (corpo semplice). Ecco cosa scrive Lavoisier nel suo *Traité de Chimie Élémentaire* (1789):

Se, con il termine elementi, intendiamo designare le molecole semplici e indivisibili che compongono i corpi, è probabile che non li conosciamo: se, al contrario, noi attacchiamo al nome di elementi o di principi dei corpi l'idea del termine ultimo al quale perviene l'analisi, tutte le sostanze che non siamo ancora riusciti a decomporre con alcun mezzo, sono per noi degli elementi; questo però non significa che noi abbiamo la certezza che tali corpi, che noi consideriamo semplici, non siano composti essi stessi di due o anche più principi;...

Se si fa riferimento ai tre eventi, citati in precedenza, che possono caratterizzare le rivoluzioni scientifiche, quello

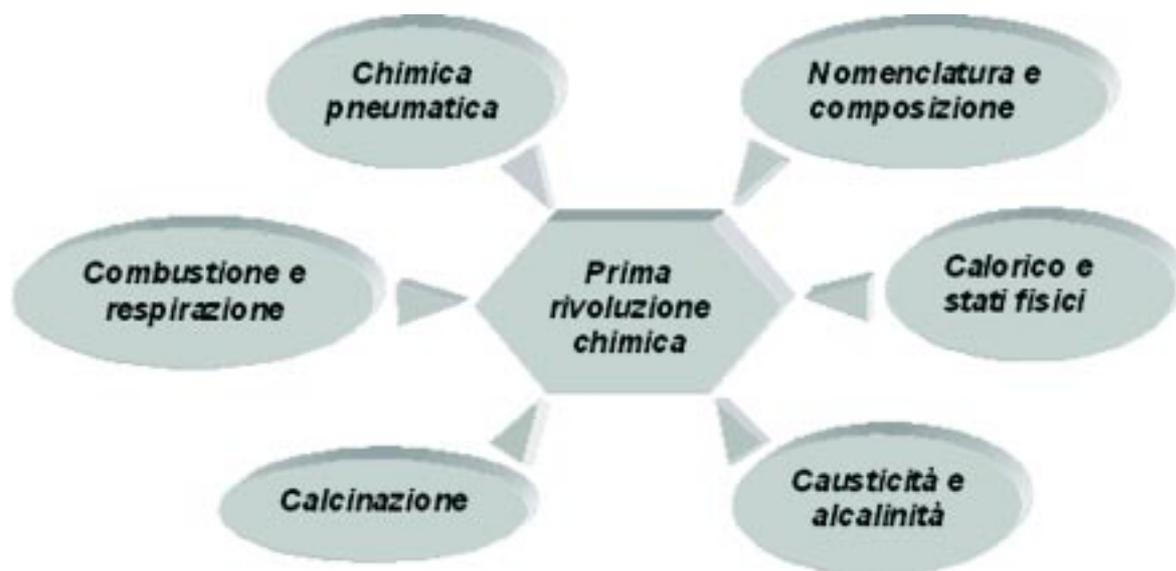


Figura 2 - I fattori più importanti che contribuirono alla prima rivoluzione della chimica

indicato con il numero 1 risulta essere il più adatto per caratterizzare la prima rivoluzione della chimica.

Vale la pena di sottolineare che la maggior parte delle definizioni di elemento presenti nei libri di testo, come si evince dalle citazioni precedenti, fanno riferimento alle idee che Lavoisier esprimeva nel 1789 e non tengono alcun conto neppure delle precisazioni successive di Mendeleev.

3.2 - La seconda rivoluzione della chimica

A differenza della prima rivoluzione chimica, collegata essenzialmente a un'unica persona (Lavoisier), la seconda rimanda ad un gruppo di chimici che contribuirono a costruire i nuovi concetti di valenza e di struttura molecolare ed a risolvere i problemi relativi alla determinazione delle masse atomiche e molecolari relative. L'avvio della seconda rivoluzione chimica viene fatto coincidere con la proposta dell'**ipotesi atomica** da parte di Dalton (1808). Mediante il concetto di peso atomico egli cercò di stabilire un collegamento tra l'atomismo filosofico dei secoli precedenti e i dati sperimentali quantitativi resi disponibili dalla prima rivoluzione. Tuttavia, le regole postulate da Dalton per assegnare le formule alle sostanze composte generarono una grande confusione che durò fino al 1860, anno in cui si tenne il famoso Congresso di Karlsruhe. La figura simbolo della seconda rivoluzione scientifica della chimica è Stanislao Cannizzaro che pervenne infine a proporre una scala autoconsistente di masse atomiche relative (pesi atomici, come si diceva allora). La soluzione proposta da Cannizzaro era in accordo con le soluzioni parziali elaborate da numerosi chimici del 1800: quelle formulate da

Gerhardt, in base alla composizione delle sostanze organiche; da Avogadro, in base alle densità dei gas; da Dulong e Petit, sulla base dei calori specifici delle sostanze semplici metalliche. La soluzione proposta da Cannizzaro al problema della determinazione dei pesi atomici pose fine ad una discussione protrattasi per oltre sessanta anni e permise ai chimici di affrontare nuovi problemi relativi alla composizione e alla struttura delle sostanze. L'evento caratteristico della seconda rivoluzione della chimica è dunque quello che corrisponde al numero 2 dell'elenco riportato in precedenza. Nello schema di figura 3 sono raccolti i fattori che contribuirono a questa seconda rivoluzione.

3.3 - La terza rivoluzione della chimica

La prima e la seconda rivoluzione della chimica furono quasi esclusivamente interne alla disciplina, mentre la terza coinvolse anche la fisica. Il suo inizio viene fatto coincidere con la proposta, da parte di Richard Abegg (1904) di una correlazione tra la tavola periodica di Mendeleev, costruita sulla base di dati empirici relativi alle sostanze, e la struttura elettronica degli atomi e, in particolare, il numero degli elettroni di valenza. Il suo culmine viene fatto coincidere con la pubblicazione (1923) da parte di Gilbert Newton Lewis del trattato *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*. La terza rivoluzione della chimica è caratterizzata dallo sviluppo di un punto di vista elettrico della materia. Se si fa riferimento ai tratti caratteristici delle rivoluzioni scientifiche esposti in precedenza, è il tratto n.3 quello che meglio caratterizza la terza rivoluzione chimica. I fattori che contribuirono a questa rivoluzione sono riassunti nello schema di figura 4.



Figura 3 - I fattori più importanti che contribuirono alla seconda rivoluzione della chimica



Figura 4 - I fattori più importanti che contribuirono alla terza rivoluzione della chimica

4 CONCETTI E LIVELLI DI CONCETTUALIZZAZIONE

4.1 - I livelli di concettualizzazione della chimica

Se si accetta la lettura della storia dell'evoluzione della chimica proposta da Jensen, risulta che ai due registri di concettualizzazione che già Mendeleev segnalava se ne deve aggiungere un terzo, successivo alla seconda rivoluzione chimica, quella che è personificata da Cannizzaro. In altre parole, al registro macroscopico e a quello microscopico atomico/molecolare si deve aggiungere il **registro nucleoelettronico** necessario per interpretare i fenomeni elettrici della materia. Al primo registro appartengono le sostanze chimiche e la loro composizione relativa, le soluzioni e le miscele, le entalpie di formazione e le costanti di equilibrio, le descrizioni e interpretazioni empiriche dei fenomeni chimici. Al secondo livello, trovano posto le formule empiriche o grezze e quelle di struttura, l'interpretazione delle entalpie di formazione in termini di entalpie di atomizzazione, le energie medie di legame, i meccanismi molecolari di reazione, ecc. Al terzo livello, vengono collocate le interpretazioni dei fenomeni elettrici; le formule elettroniche (strutture di Lewis e configurazioni elettroniche); le variazioni nella composizione elettronica o nucleare (ioni e isotopi) e il concetto di elemento; i calcoli energetici basati sulla struttura elettronica; l'interpretazione degli spettri; i meccanismi delle reazioni ioniche e fotochimiche; gli effetti isotopici, ecc.

4.2 - Il concetto di atomo

Nell'introduzione abbiamo schematizzato la struttura gerarchica abitualmente adottata, in modo esplicito o implicito, dai libri di testo di chimica della scuola secondaria. Come già abbiamo segnalato, in tale gerarchia la relazione tra sostanza semplice, molecola e atomo è quella introdotta da Stanislao Cannizzaro verso il 1860; però nel corso di

quasi centocinquanta anni il sapere chimico si è sviluppato e nuove conoscenze sono venute ad integrare quelle di cui disponeva Cannizzaro. Oggi, ad esempio, sappiamo che esistono sostanze le quali sono composte non di molecole diatomiche o poliatomiche, ma di atomi: ad esempio, i gas nobili e buona parte dei metalli allo stato gassoso. Inoltre, si ammette oggi che **la struttura elettronica di un atomo isolato non si conserva come tale quando gli atomi entrano a far parte delle molecole**. Per atomo si intende una entità chimica isolata, composta di un nucleo e di un numero di elettroni tale da conferire all'intera struttura una carica elettrica nulla. Quando gli atomi formano ioni o interagiscono formando molecole, non conservano il numero degli elettroni o la loro **configurazione elettronica**; per contro, il termine «nucleo» indica, per quanto ne sappiamo oggi, una delle parti invarianti di ciò che prima era identificato con il termine atomo. In effetti, l'essenza di una reazione chimica, quando questa non viene considerata a livello macroscopico, è proprio il ristrutturarsi della disposizione degli elettroni. Ne segue che non è possibile affermare che gli atomi neutri sono le unità strutturali delle molecole e degli ioni; le molecole sono costituite di nuclei e di elettroni e non di atomi neutri.

Questa affermazione ha due importanti conseguenze:

1. La relazione tra molecole e atomi ammessa nella struttura gerarchica proposta da Cannizzaro (figura 1) dovrebbe essere abbandonata. Per indicare le unità strutturali della chimica a livello microscopico si dovrebbe usare unicamente il termine molecola.

2. Se non si considera più l'atomo come unità strutturale indipendente della gerarchia chimica, non si dovrebbe più parlare di molecole diatomiche e poliatomiche, ma di molecole mononucleari (gli atomi) e polinucleari. La composizione e la struttura delle molecole dovrebbe allora essere espressa facendo riferimento al tipo, al numero e alla di-

sposizione spaziale dei nuclei e non degli atomi che le compongono.

Se si tiene conto delle precedenti considerazioni, la struttura gerarchica della chimica di base può essere rappresentata in un altro modo (figura 5).

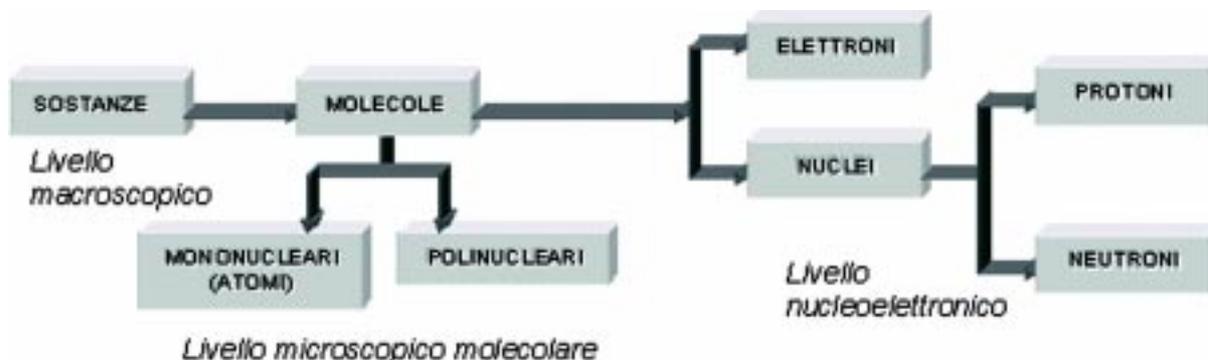


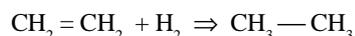
Figura 5 - La struttura gerarchica della chimica di base rivista

Questo significa forse ritenere che gli atomi non abbiano più alcuna importanza per i chimici e per lo studio della chimica? Niente affatto. Come sottolinea Jensen [14], il fatto di considerarli come molecole mononucleari, non significa che non si possa più parlare di atomi o negare ogni importanza alle loro proprietà che mostrano un andamento periodico, quali il raggio atomico, il potenziale di ionizzazione, l'affinità elettronica, la polarizzabilità, ecc. In effetti, una parte consistente dei corsi di chimica consiste nel guidare gli studenti a stabilire relazioni tra le proprietà degli atomi e quelle delle molecole polinucleari o delle strutture reticolari. Tuttavia, l'importanza che viene attribuita agli atomi e alle loro proprietà periodiche per spiegare le relazioni tra proprietà e composizione dei sistemi più complessi andrebbe invece attribuita all'insieme di nucleo ed elettroni con cui ogni **elemento** partecipa alla struttura delle molecole polinucleari o dei reticoli; altra cosa è lo statuto attribuito (o non attribuito) agli atomi nella struttura gerarchica delle entità chimiche.

4.3 - Il concetto di elemento

Nell'introduzione abbiamo segnalato che quasi sempre nei libri di testo il termine elemento è usato come sinonimo o di sostanza semplice [15] (livello macroscopico) o di atomo (livello microscopico). Tuttavia, come si è visto parlando di rivoluzioni chimiche e di livelli di concettualizzazione, il concetto di elemento non appartiene né al livello macroscopico (e quindi non è sinonimo di sostanza), né al livello microscopico (e quindi non è sinonimo di atomo). Per rendersene conto, è sufficiente prendere in considerazione alcune situazioni di natura chimica.

Situazione 1 - Consideriamo la reazione chimica:



In questa reazione:

- 1) La sostanza diidrogeno si conserva?
- 2) L'elemento idrogeno si conserva?

Siamo in presenza di una reazione chimica nella quale le sostanze reagenti interagiscono producendo nuove so-

stanze: i prodotti della reazione. Quindi la sostanza semplice diidrogeno non si conserva. Per contro, l'elemento idrogeno è presente sia nelle sostanze reagenti sia nella sostanza che prende origine dalla reazione: quindi l'elemento idrogeno si conserva.

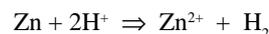
Non si può quindi usare il termine elemento per indicare una sostanza semplice: in questo caso, si sarebbe obbligati a sostenere che l'elemento si conserva, mentre la sostanza semplice non si conserva. Che senso avrebbe dire che, nella stessa situazione, la stessa entità chimica si conserva e non si conserva?

Situazione 2 - Consideriamo la sostanza composta metano:



- 1) Quanti atomi concorrono a costituire la molecola CH_4 ?
 - 2) Quanti elementi concorrono a costituire la molecola CH_4 ?
- Gli atomi che concorrono a costituire la molecola CH_4 sono cinque, ma gli elementi sono solo due, il carbonio e l'idrogeno. Evidentemente, elemento e atomo non sono sinonimi.

Situazione 3 - Consideriamo la reazione chimica:



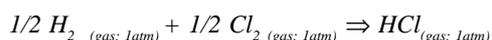
- 1) Cosa hanno in comune la sostanza semplice zinco (Zn) e lo ione zinco (Zn^{2+})?
- 2) Cosa hanno in comune lo ione idrogeno (H^+) e la sostanza semplice diidrogeno (H_2)?

In entrambi i casi, è l'elemento ciò che hanno in comune le due coppie considerate: l'elemento zinco nel primo caso e l'elemento idrogeno nel secondo.

Nessuno può negare che l'elemento idrogeno sia presente nel metano, nell'etano, nella sostanza semplice diidrogeno e nello ione idrogeno. In tutte queste specie chimiche, gli **interni elettronici** sono molto diversi; l'unica caratteristica che hanno in comune, in base alla quale possiamo affermare che in esse è presente l'elemento idrogeno, è la **presenza del nucleo dell'atomo di idrogeno**.

Situazione 4 - Se, come abbiamo appena affermato, gli interni elettronici delle specie chimiche diidrogeno (molecola) e idrogeno (atomo) sono diverse, diversa è la loro situazione energetica. La confusione tra i concetti di so-

stanza semplice e di elemento genera anche da questo punto di vista una confusione. In termochimica, le entalpie di formazione delle sostanze vengono riferite ad uno stato standard e “..... per convenzione, a ciascun **elemento** nel suo **stato standard** viene assegnato il valore di entalpia uguale a zero. Per esempio lo stato standard dell'ossigeno è quello gassoso, lo stato standard del mercurio è quello liquido, Pertanto, considerando la reazione di sintesi di una mole di acido cloridrico (gas a $P = 1\text{atm}$) a partire dagli elementi idrogeno (gas a $P = 1\text{atm}$) e cloro (gas a $P = 1\text{atm}$), e cioè con i reagenti ed i prodotti nei rispettivi stati standard:



essendo $\Delta H^\circ = H^\circ_{\text{prodotti}} - H^\circ_{\text{reagenti}}$

poiché $H^\circ_{\text{H}_2} = H^\circ_{\text{Cl}_2} = 0$ in quanto elementi nei rispettivi stati standard

$$\Delta H^\circ = H^\circ_{\text{HCl}} - (H^\circ_{\text{H}_2} + H^\circ_{\text{Cl}_2}) = H^\circ_{\text{HCl}} - (0+0) \quad [14]$$

Il testo citato, come quello di molti altri in adozione nelle scuole italiane, attribuisce chiaramente entalpia zero al gas diidrogeno chiamandolo elemento. Sorge spontaneo chiedersi: nella seguente reazione $\text{H}_2(\text{g}) \Rightarrow 2\text{H}(\text{g})$, dove possiamo prendere in considerazione l'energia potenziale implicata nel legame tra due atomi di idrogeno, quale specie deve essere considerata un «elemento»?

Anche la specie H rappresenta l'elemento idrogeno, ma la sua entalpia di formazione non può essere zero, poiché tale valore è stato assegnato alla specie H_2 .

La determinazione delle entalpie (standard o no) delle sostanze semplici e composte è propria del livello macroscopico e quindi andrebbe affermato che, per convenzione, si è deciso di assegnare a ciascuna **sostanza semplice nella forma allotropica più stabile** il valore di entalpia uguale a zero alla temperatura di 298 K e alla pressione di 101 kPa.

Le considerazioni evidenziate nelle quattro situazioni, ci portano a concludere che con il termine elemento non si può indicare né la sostanza semplice diidrogeno né l'atomo di idrogeno. Il suo significato è un altro ed è legato al nucleo. Gli attributi essenziali del concetto di elemento sono quindi i seguenti:

1. Un nome
2. Un simbolo
3. Una posizione nella Tavola Periodica
4. Un numero atomico

Sappiamo che i nuclei si differenziano per il numero atomico e per il numero di massa; nuclei aventi lo stesso numero atomico e diverso numero di massa occupano lo stesso posto nella Tavola Periodica. Quindi in una stessa casella possono trovarsi varietà diverse dello stesso elemento, varietà chiamate isotopi (termine derivato dal greco dove ha il significato di «stesso luogo»); ciò che li differenzia è il numero di massa. In conclusione quindi si può affermare [14] che **con il termine elemento si designa una classe di nuclei aventi tutti lo stesso numero atomico.**

A questo punto è evidente l'assurdità della posizione di quanti identificano elemento e sostanza semplice: se così fosse, una sostanza semplice (ossia un elemento) sarebbe un **corpo puro** costituito da una **miscela** di isotopi. Se que-

sta non è una contraddizione...

5 CONCLUSIONE

La classificazione dei concetti e dei modelli della chimica in tre livelli (macroscopico, microscopico molecolare e nucleoelettronico) è importante non solo per meglio comprendere le loro interrelazioni e le assunzioni su cui poggiano, ma anche per migliorarne l'insegnamento e favorirne quindi un apprendimento significativo. In effetti, se un insegnante (o l'autore di un libro di testo) non è consapevole dell'esistenza di questi tre livelli, non si curerà di segnalarli in modo esplicito agli studenti. In questo modo, li priverà di uno strumento potente di comprensione della organizzazione logica della chimica di base, ossia impedirà loro di rendersi conto che è possibile collegare in modo logico i numerosi concetti e i modelli parziali e approssimativi che si incontrano nei corsi di base di chimica. Inoltre, cosa ben peggiore, nella propria esposizione delle conoscenze chimiche, mescolerà in modo del tutto casuale i tre registri di concettualizzazione contribuendo così a rendere la chimica incomprensibile e illogica: una materia, come dice la stragrande maggioranza degli studenti, da studiare a memoria perché non si capisce niente.

Con ogni probabilità, le considerazioni esposte in questo articolo a proposito del concetto di elemento e della sua costruzione nel corso delle rivoluzioni della chimica saranno accolte con stupore dalla maggior parte dei lettori. È una previsione fondata sulle reazioni dei laureati che frequentano la Scuola di Specializzazione per Insegnanti della Scuola Secondaria (SISS) dell'Università di Torino quando vengono portati a riflettere su queste idee². Nel loro caso, lo sconcerto di trovarsi di fronte ad una concezione di elemento del tutto nuova si accompagna con lo stupore di non avere mai incontrato, nel corso degli studi universitari, un professore che non veicolasse, esplicitamente o implicitamente, una concezione difforme rispetto alle conoscenze attuali.

Al fine di eliminare, per quanto è possibile, la confusione tra i concetti, sarebbe opportuno adeguare anche il linguaggio parlato e scritto, utilizzando termini diversi per i due significati. Già Mendeleev faceva presente che i termini usati per indicare l'elemento e la sostanza semplice (anzi, le sostanze semplici) erano diversi nel caso di carbonio (elemento) e carbone, diamante e grafite (sostanze semplici costituite di carbonio). Oggi tale distinzione è possibile in altri casi: se con idrogeno si indica l'elemento, diidrogeno (H_2) è la sostanza semplice; azoto, ossigeno e cloro sono gli elementi, mentre diazoto, diossigeno e dicloro sono le sostanze semplici.

Forse non è da escludere che se la chimica è una disciplina poco amata, ciò dipenda anche dal fatto che nei libri di testo si trovano idee alquanto confuse, per non dire distorte, a proposito dei concetti fondamentali della chimica di base, il che rende arduo, se non impossibile, insegnare i fondamenti della disciplina mettendone in risalto la logica intrinseca. Per gli allievi può essere difficile appropriarsi delle spiegazioni logiche che i chimici propongono per una ampia serie di fenomeni, ma è sicuramente impossibile che in questo possano essere aiutati da libri di testo nei quali questa logica risulta ermetica, se non travisata. Appare anche evidente che la storia della chimica e la sua

² Corso di Didattica della Chimica di Base (E. Roletto) e Laboratorio sui concetti strutturanti della chimica (A. Regis)

epistemologia possono essere di grande aiuto agli autori dei libri di testo nell'operazione di trasposizione didattica che porta dal sapere scientifico formalizzato al sapere scientifico da insegnare. Non si può che condividere l'opinione di chi sostiene [16] che grazie ad esse può essere favorita la comprensione dei concetti di base e che sarebbe quanto mai opportuno inserire tali argomenti nel curriculum della formazione iniziale degli insegnanti.

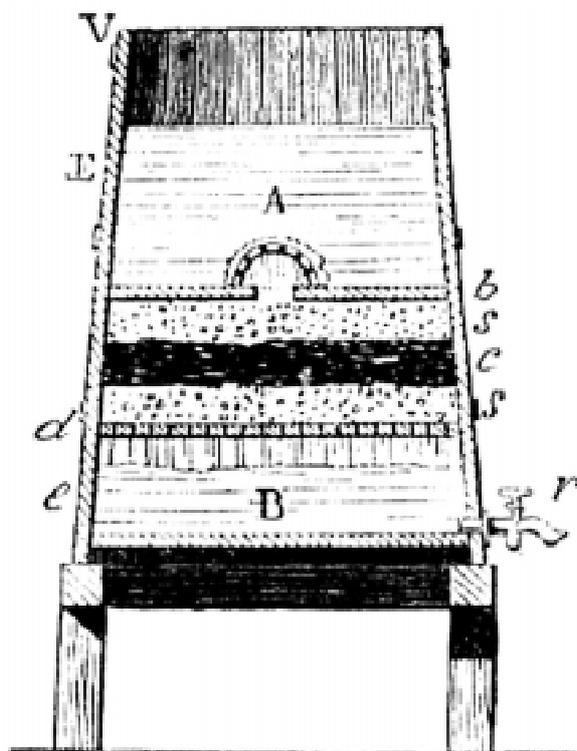
Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Prof. Paolo Lubini per gli utili suggerimenti e gli stimolanti commenti.

BIBLIOGRAFIA

[1] Jensen W., Does Chemistry Have a Logical Structure? *J. Chem. Educ.*, **75**, 1998, pp. 679-687
 [2] Olmi F., Pera T., *Alchimia 2000*. La Nuova Italia, Firenze, 1990, p. 18
 [3] Demaldé V., Speciani M.C., Vitale A., *Chimica di base*. McGraw-Hill, Milano, 1995, p. 36
 [4] Bargellini A., *Chimica Società Ambiente*. Signorelli, Milano, 2001, p. 37
 [5] Bagatti F., Corradi E., Desco A., Ropa C., *Chimica*.

Zanichelli, Bologna, 2003, p.88
 [6] Passannanti S., Sbriziolo C., *Il nuovo alla scoperta della chimica*, Tramontana, Milano, 2005, p. 35
 [7] Giamello E. et al., *Atomi molecole materiali*. Loescher, Torino, 2001, p.4
 [8] Paschetto S., Patrone L., *Chimica fisica*. Zanichelli, Bologna, 2004, vol.1, p. 6
 [9] Mendeleev D., La legge della periodicità degli elementi chimici (1871). In: *Il sistema periodico degli elementi* (a cura di Tagliagambe S.), Teknos Edizioni, Roma, 1994, p. 27
 [10] Ibidem, p. 129
 [11] Kuhn T., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Einaudi, Torino, 1979
 [12] Shapiro S., *La rivoluzione scientifica*. Torino, Einaudi, 2003, pp. xiv – xxi
 [13] Jensen W., One Chemical Revolution or Three? *J. Chem. Educ.*, **75**, 1998, pp. 961-969
 [14] Jensen W., Can We Unmuddle The Chemistry Textbook? *J. Chem. Educ.*, **75**, 1998, pp. 817-828
 [15] Roundy W., What is an element? *J. Chem. Educ.*, **66**, 1989, pp. 729-730
 [16] Matthews M., *Science Teaching*. Routledge, New York - London, 1994



Filtre au charbon de bois.

Sviluppo di un modello didattico, con l'attuazione di rappresentazioni "logico- iconiche", per la trattazione del secondo principio della termodinamica

ENRICO MANSUETI*
MARCO LA SELVA**

Riassunto

Questo lavoro propone un modello didattico alternativo alla classica lezione frontale per lo studio della termodinamica. L' intervento, incentrato sul secondo principio della termodinamica, è stato proposto in una classe IV ITIS e si basa su una didattica che fa uso di mediatori logico- iconici seguendo l'impostazione formalizzata da Gowin e Novak. Con questa metodologia non si comprime il processo educativo sulla trasmissione di contenuti e sulla valutazione dei risultati finali che riducono l'apprendimento ad una risposta o un'imitazione a un determinato stimolo, ma invece lo riporta ad un processo nel quale un soggetto modifica i propri reticoli di informazioni e ne crea di nuovi.

Abstract

This project presents a different teaching method, other than the traditional frontal lesson, in order to study thermodynamics. The teaching unit on Thermodynamics' second principle has already been proposed to a Fourth Year Class at ITIS (Technical High School). It is based on a different teaching approach which uses logical connectives and icons as mediators, according to Gowin and Novak methods.

By those standards, the learning process is not only a transmission of contents and the assessment of final objectives, nor a simple response to an input; rather, the learner can modify his previous information network and build new, different ones.

Introduzione

Lo studio di strumenti, approcci e paradigmi didattici conduce a valutare vantaggi e rischi principali di molte tipologie di intervento. Fra le molteplici varietà didattiche, si ritengono particolarmente valide quelle basate sui paradigmi attivista [1,2,3,4,5,6], costruttivista [7,8,9,10] e sull'approccio cognitivista [11,12].

Negli ultimi anni la crescente attenzione verso le conoscenze pregresse dell'allievo e verso le interazioni che si instaurano tra queste e le nuove informazioni ha avvicinato il paradigma cognitivista [13,14,15] al costruttivismo, tanto che i due modelli possono essere considerati complementari.

Gli sviluppi più recenti delle teorie cognitive hanno sottolineato come sia fondamentale il ruolo della rappresentazione delle conoscenze nei processi di apprendimento. Secondo questi sviluppi l'apprendimento deve essere inteso come costruzione di forme di rappresentazione mentale dei dati esterni e tale rappresentazione si compone secondo una struttura reticolare, fatta di nodi legati da relazioni logiche [16,17].

In questo contesto diventa fondamentale il ruolo delle mappe concettuali; secondo Novak una mappa concettuale è "la rappresentazione logico iconica di un particolare territorio di conoscenze; come una mappa geografica permette di orientarsi in un ambiente sconosciuto, così una mappa concettuale favorisce i processi di organizzazione di nuove informazioni, rendendo consapevoli sulle proprie capacità di apprendimento".

Le mappe concettuali sono fondamentali anche per l'insegnante poiché grazie ad esse l'allievo è in grado di costruire il proprio percorso didattico e di organizzare nel migliore dei modi il lavoro. Mediante una mappa cognitiva preliminare è possibile la rilevazione delle conoscenze pregresse degli allievi, in modo da poter adattare e rielaborare la mappa dell'insegnante, scegliendo così il livello di concettualizzazione più adatto. Con le mappe concettuali è possibile monitorare le modifiche che avvengono nella matrice cognitiva del soggetto che apprende, semplicemente seguendo i cambiamenti delle mappe concettuali prodotte le quali si arricchiscono di nuovi e più articolati collegamenti. Inoltre è possibile una

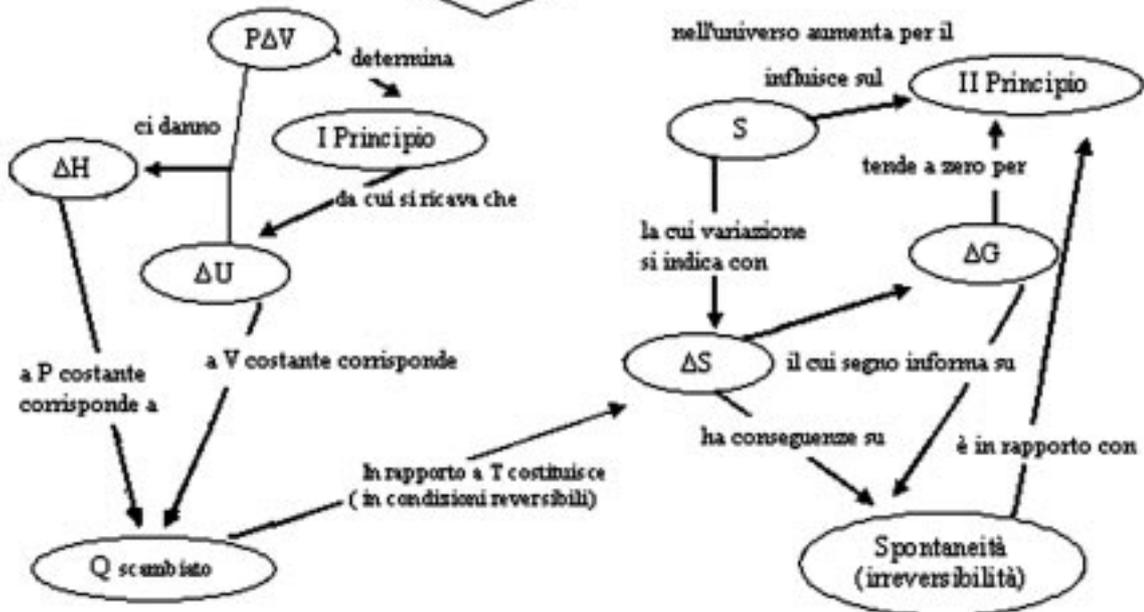
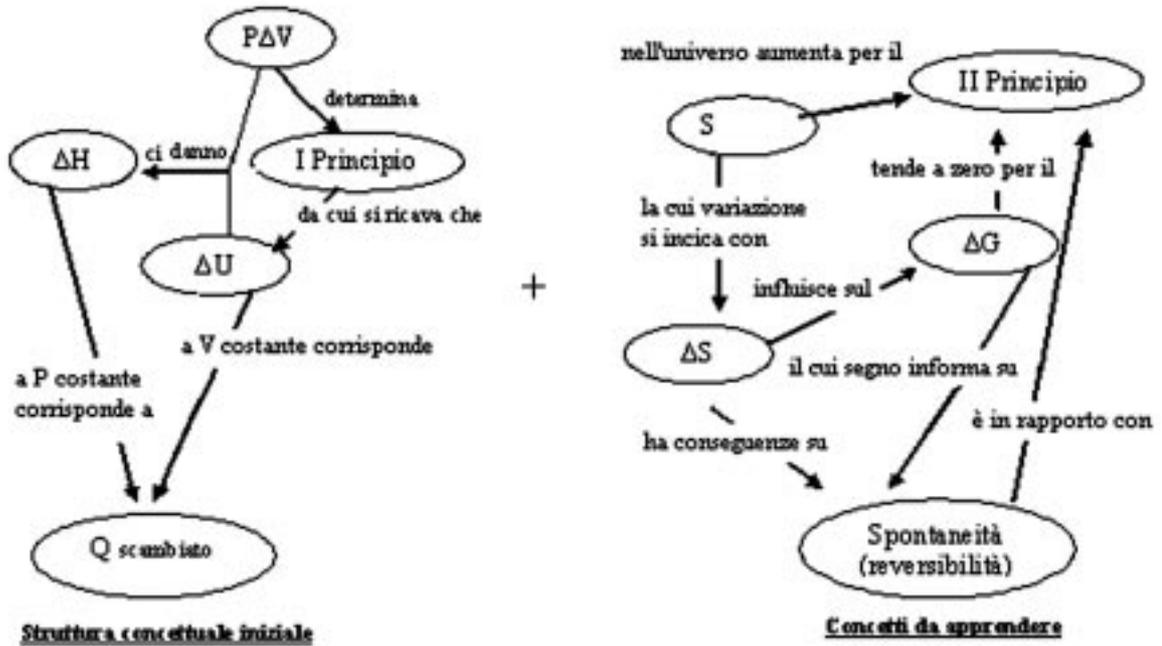
verifica dei progressi effettuati e del livello raggiunto mediante confronto tra la mappa "di arrivo", quella "di partenza" e la mappa dell'insegnante [12].

*Istituto Professionale "L. Angeloni", Frosinone
(e-mail: enrico.man@libero.it)

**Università di Torino; L.S. "C. Darwin", Rivoli
(e-mail: lasmarco46@hotmail.com)

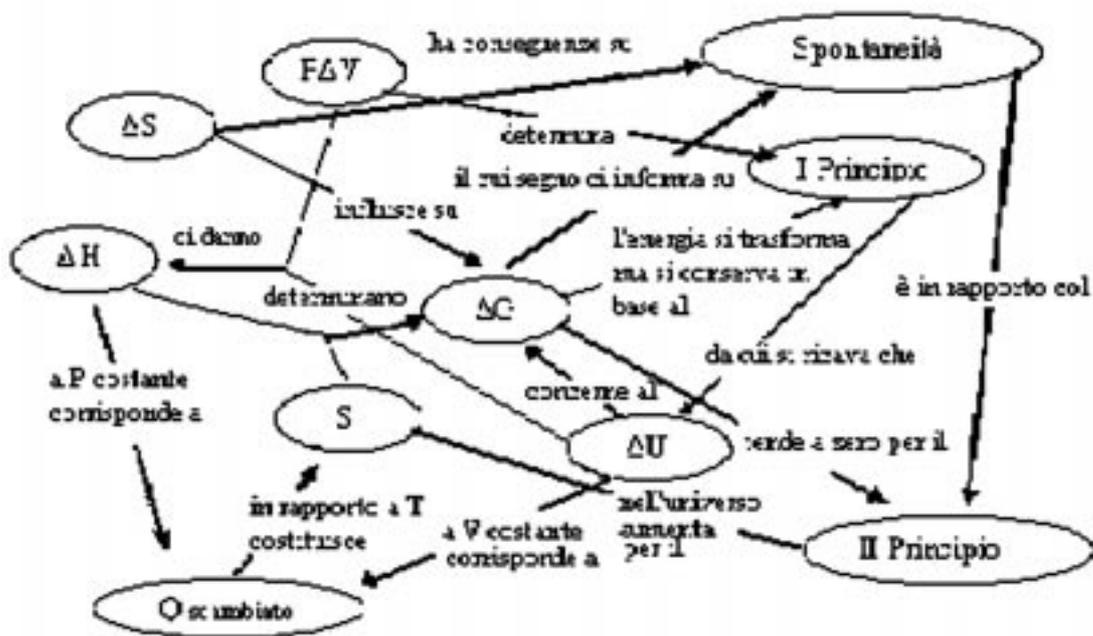
Confronto tra i processi di apprendimento di natura mnemonica e significativo

APPRENDIMENTO MNEMONICO



Struttura concettuale finale tipica di un apprendimento mnemonico in cui è mancata attività di metariflessione: i nuovi concetti (nodi) sono legati ai vecchi in maniera labile. Nell'esempio si evidenzia la presenza di un solo nuovo collegamento concettuale (snodo).

APPRENDIMENTO SIGNIFICATIVO



Struttura cognitiva integrata superiore. Si può notare che agli stessi nodi corrisponde un maggior numero di collegamenti (snodi), i quali danno origine a un elaborato reticolo; il tutto è frutto di un'efficace metariflessione.

Scuola: Triennio Istituto tecnico industriale

Disciplina: Chimica e laboratorio

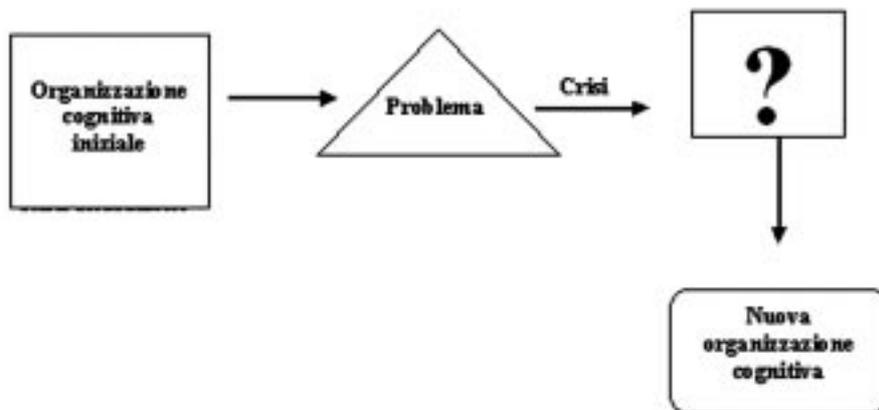
Modulo di Termodinamica

Durata: 7h

Argomento: Il secondo principio della termodinamica e i concetti di Entropia ed Energia libera

Tipo di didattica scelta per l'intervento:

Per questo tipo di intervento, per attinenza a quanto già esposto, ci si è basati su una didattica per concetti, in quanto è particolarmente incentrata sui processi cognitivi che avvengono nella mente dell'allievo durante l'apprendimento. Pertanto è coerente con la corrente della psicologia cognitivista [18], per la quale la mente deve essere intesa come un centro di trattamento delle informazioni, capace di rappresentarsi la realtà e di prendere decisioni. L'apprendimento risulta quindi inteso come un processo mediante il quale un soggetto modifica i reticoli di informazioni che già sono presenti nella sua memoria e ne crea di nuovi. In questo modo la conoscenza si sviluppa gradualmente attraverso la messa in relazione di quello che il soggetto già conosce con i nuovi saperi che gli vengono presentati [12].



All'interno della didattica per concetti appaiono strategie particolarmente interessanti la risoluzione di problemi e l'utilizzazione delle mappe concettuali, i primi per realizzare un maggior coinvolgimento mentre le seconde per aiutare il chiarimento concettuale. L'applicazione di strumenti logico-iconici si presta a molteplici e talora innovativi modalità di intervento (soprattutto per quanto riguarda la variante di ristrutturazione della matrice cognitiva dell'allievo mediante attività di messa in crisi di eventuali misconcetti [5,18]), ma la limitatezza temporale dell'intervento, unita alle prevedibili e specifiche difficoltà, non ne ha permesso un uso sistematico e "assolutista" lungo tutto il lavoro. Tuttavia l'uso di una rappresentazione "logico iconica di un particolare territorio di conoscenze" risulta utile e ben applicabile ai fini di una valutazione obiettiva, soprattutto riguardo alla significatività dell'apprendimento come conseguenza di una rielaborazione personale. Invece, un processo di valutazione limitato alla verifica di risoluzioni matematiche può rilevare soltanto l'applicazione più o meno corretta di capacità mnemoniche come l'impiego della formula esatta secondo un modello stimolo-risposta di natura comportamentista, senza dare nessun contributo sul significato e la ricaduta che quei concetti possono avere sul soggetto [19]. Se è vero che in certe realtà scolastiche questo può ritenersi già un successo, in ogni caso è buona prassi per un docente non accontentarsi mai di risultati minimi.

Obiettivi:

Al termine dell'intervento gli allievi devono essere in grado di definire:

- l'entropia
 - l'energia libera
 - il secondo principio della termodinamica
- e relativamente alle reazioni chimiche devono
- individuare la variazione di entropia e stabilirne il criterio di spontaneità (mediante calcoli)

Concetti strutturanti:

- Entropia
- Spontaneità delle reazioni

Nucleo fondante:

- Trasformazione della materia e conservazione dell'energia

Tempi dell'intervento:

Le ore di lezione previste per l'unità didattica sono 7.

Prerequisiti:

- A) Padroneggiamento delle mappe concettuali (stabilire nessi logici tra concetti e valutarne la gerarchia)
- B) Definire un sistema aperto, chiuso e isolato
- C) Definire ed individuare una grandezza di stato
- D) Indicare e descrivere reazioni eso/endotermiche
- E) Definire l'entalpia
- F) Definire il primo principio della termodinamica e indicare le conseguenze sulle trasformazioni chimiche
- G) Descrivere le conseguenze della legge di Hess

Contenuti:

- A) Definizione di entropia e descrizione della sua influenza sui sistemi chiusi
- B) Definizione di entropia di reazione e modalità applicative di calcolo matematico

- C) Definizioni del secondo principio della termodinamica
- D) Definizione di energia libera di reazione e descrizione delle sue modalità di calcolo e delle conseguenze sulle trasformazioni dei composti

Collegamenti inter e intradisciplinari:

Nell'ambito della stessa disciplina l'intervento si collega alla costituzione e alle trasformazioni della materia. Sono possibili collegamenti interdisciplinari con fisica.

Attività previste

- A) Richiami sulla legge di Hess attraverso l'uso delle mappe concettuali (1h)
- B) Problem solving per introduzione del concetto di entropia (1h)
- C) Energia libera (problem-solving) e introduzione secondo principio (1 h)
- D) Riepilogo con mappe concettuali (alla lavagna) e problem solving (2 h)
- E) Verifica sommativa mediante risoluzione di problemi e completamento di mappe concettuali (2 h)

Strumenti e materiali didattici previsti:

- A) Aula per lezioni frontali
- B) Dispensa per esercitazione di problem solving con valori di energia libera, entropia ed entalpia.
- C) Libro di testo (per approfondimenti): "Elementi di Chimica-Fisica", Atkins, P.W.; Ed Zanichelli, seconda edizione, 1999.
- D) Esercizi per il problem solving

Modalità di verifica

La verifica prevede la risoluzione di problemi e la costruzione di mappe concettuali.

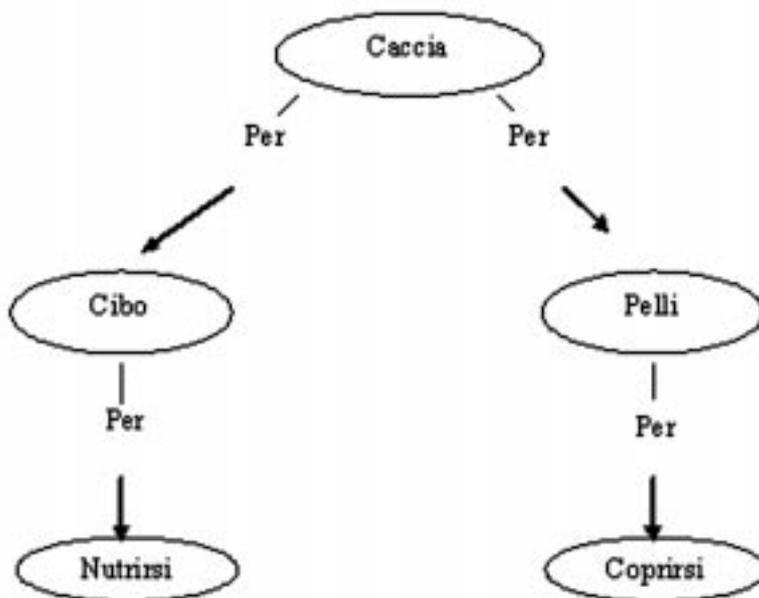
Sviluppo dell'intervento: attività

Attività 0 (1h): richiami sulla legge di Hess mediante l'uso di mappe concettuali

Schema di una classica mappa concettuale [20] da utilizzarsi come richiamo per le modalità operative degli studenti. I diversi concetti (racchiusi entro nodi o etichette) sono posti in relazione mediante collegamenti logici (snodi) indicati da linee, frecce e/o parole-legame: La frase rappresentata è: "La scoperta casuale di semi determinò l'inizio dell'agricoltura":



Mentre la mappa seguente [20]

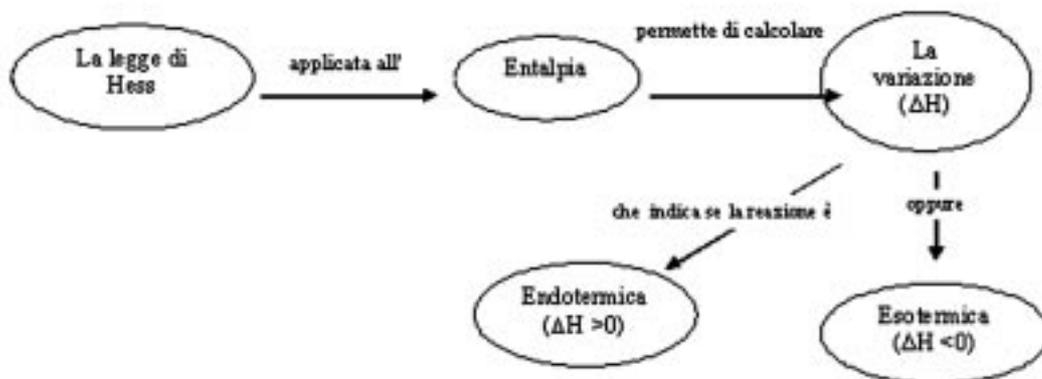


Riassume la frase: *“La caccia veniva praticata per procurarsi il cibo con cui nutrirsi e le pelli per ricoprirsi”*

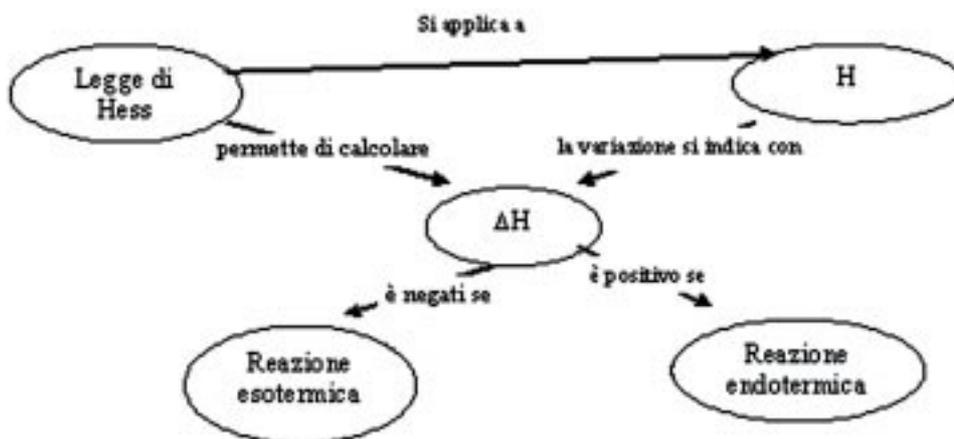
Riusciresti a collegare la legge di Hess con il calcolo della variazione di Entalpia e la definizione di reazione eso/endotermica mediante una mappa concettuale?

Con l'aiuto dell'insegnante si arriva alla costruzione di mappe concettuali personali come quelle riportate:

Mappa 1

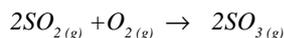


Mappa 2





Della seguente reazione fare un'ipotesi circa la variazione di entropia:



Gli studenti sono stati invitati ad un colloquio collettivo che ha portato alla formulazione di proposte di spiegazione dalle quali il docente ha tratto spunto per condurre gli studenti alla socializzazione e condivisione della conclusione corretta. È emerso che la sintesi di SO_3 dovrebbe procedere con diminuzione di entropia poiché si passa da 3 molecole di gas reagenti a 2 molecole di gas prodotto. Quindi il disordine legato ai prodotti è minore rispetto a quello legato ai reagenti.

L'insegnante ha ripreso quindi dal problema iniziale ($2\text{C}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{(g)}$) e ha proceduto alla dimostrazione della risoluzione della seconda parte utilizzando i dati in tabella.

In questo caso la variazione di entropia sarà positiva (si formano due molecole gassose, il disordine aumenta).

Domanda per favorire la riflessione e la costruzione del nuovo concetto:

Nella trasformazione $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ come varia l'entropia? (aumenta, diminuisce o rimane invariata?)

A questo punto la proposizione di un esercizio lievemente modificato rispetto a quello iniziale ($2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$, ma con carbonio gassoso invece di grafite) e la sua soluzione hanno costituito motivo di riflessione chiarificatrice sul significato di entropia. In questo caso infatti la variazione di S associata alla reazione è negativa (aumenta l'ordine, da tre particelle gassose se ne formano due).

Attività II. Energia libera e secondo principio (1 h)

Viene introdotto il secondo principio della termodinamica (legandolo al concetto di entropia); la soluzione definitiva del problema iniziale porta all'acquisizione del concetto di energia libera.

L'entropia è un concetto legato al secondo principio della termodinamica; il primo principio afferma che l'energia si mantiene costante trasformandosi ogni volta in qualcosa di diverso. Il sole fa evaporare l'acqua del mare, che ricade sotto forma di pioggia, che va ad alimentare una centrale idroelettrica per produrre elettricità; l'elettricità genera movimento in un motore e da questo calore ecc. Il secondo principio della termodinamica tratta del degrado del potenziale energetico (non completa utilizzazione per compiere lavoro). Se consideriamo il vento, una macchina a vapore e una centrale termoelettrica,

possiamo notare che sono tutti accomunati da un principio: per produrre movimento (vento), calore (macchina a vapore) o elettricità (centrale termoelettrica) occorre una differenza di temperatura. Senza differenze di temperatura non esisterebbe niente di tutto ciò, avremmo un sistema inerte, praticamente morto, incapace di trasformazioni d'energia, di compiere lavoro, di evoluzione e di vita. Si arriverebbe alla completa inutilizzazione (degradazione) del potenziale energetico: impossibilità di aumentare l'entropia.

Mescolando acqua fredda e acqua calda, se potessimo vedere le singole molecole di acqua, noteremmo che quelle di acqua calda si muovono in maniera più agitata rispetto alle altre. Venendo però a contatto esse si mescoleranno, arrivando a una temperatura media: le molecole si scontreranno e quelle più agitate cederanno energia a quelle più calme, che cederanno a loro volta energia anche alle particelle di aria e della pentola che le contiene, col risultato che alla fine le molecole dell'acqua tenderanno tutte a una stessa velocità uniforme. L'energia ceduta con gli urti dalle molecole di acqua calda avrà fatto aumentare l'agitazione, prima in modo sensibile e poi impercettibilmente, di tutte le molecole con cui sono venute a contatto, che a loro volta agiteranno cedendo energia alle particelle (aria, alluminio, la mano, la presina ecc.) con cui queste ultime sono a loro volta a contatto, ovvero si andrà verso una crescente entropia dell'universo. Pertanto, per avere di nuovo acqua calda dovrei immettere nel sistema altra energia prelevandola dall'esterno.

Gli organismi viventi sembrano negare l'entropia, ma solo in apparenza; se è vero che l'informazione contenuta nel codice genetico consente di costruire strutture ordinate che sembrano andare contro il disordine entropico, non dobbiamo dimenticare che questo avviene a spese di energia, la cui sorgente ultima è il sole.

Definizioni storiche del secondo principio:

Clausius: È impossibile che avvenga un processo naturale il cui unico effetto sia il trasferimento spontaneo di calore da un corpo più freddo a uno più caldo.

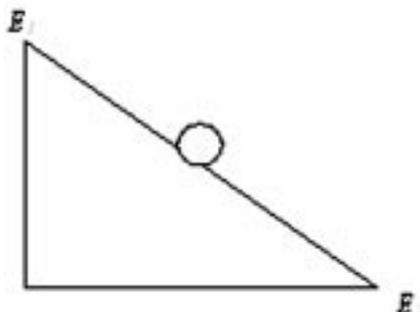
Kelvin (William Thomson): È impossibile che avvenga un processo naturale il cui unico effetto sia l'estrazione di calore da una riserva termica a temperatura costante e la trasformazione integrale del calore assorbito in lavoro meccanico [21].

Riassumendo possiamo semplificare e unire il primo e il secondo principio affermando che l'energia di un sistema isolato in evoluzione resta costante, ma tende a degradarsi; la forma più disordinata, "degradata", di energia, è il calore [8].

Esercizio: Si propone la costruzione di una mappa concettuale che rappresenti la frase precedente.

Introduzione al ΔG e soluzione definitiva del problema iniziale.

Una palla rotola spontaneamente lungo un piano inclinato, da una posizione a più alta energia potenziale, E_1 , a una più bassa, E_2 .



E' difficile pensare che avvenga spontaneamente il processo inverso.

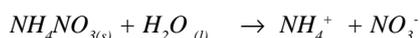
La reazione di combustione del metano in eccesso di ossigeno una volta innescata procede spontaneamente fino ad esaurimento del metano.



$$\Delta H = - 802 \text{ kJ}$$

Dai dati, e dall'esperienza, risulta che la reazione è esotermica, cioè avviene con diminuzione di entalpia.

Anche la reazione di dissoluzione in acqua del Nitrato di ammonio è spontanea:



$$\Delta H = 25 \text{ kJ}$$

$$\Delta S = 108, 7 \text{ J/mol } ^\circ K$$

$$T = 25^\circ C$$

Notiamo però che in questo caso la spontaneità è accompagnata dal carattere endotermico ($\Delta H > 0$).

L'Entalpia è un criterio valido per stabilire a priori la spontaneità di un reazione?

Gli studenti devono dedurre che la variazione di entalpia non può essere un criterio di spontaneità: attuazione di un dialogo socio-cognitivo guidato con gli allievi.

Si propone quindi, dopo la condivisione della deduzione, la costruzione di una mappa concettuale che illustri questo concetto.

Nei processi spontanei intervengono sia il fattore entalpico che il fattore entropico; per tenere conto di entrambi (e quindi per prevedere il decorso di una reazione) i chimici utilizzano la funzione **Energia libera**

$$G = H - T\Delta S \quad \text{Equazione di Gibbs-Helmoltz}$$

Dove T è la temperatura assoluta alla quale avviene il processo

Ricavare le unità di misura

Dal fatto che $H = J/mol$ ed $S = J/ mol K$, i ragazzi devono dedurre che l'energia libera si esprimerà in J/mol.

Secondo l'equazione di Gibbs-Helmoltz una reazione chimica può procedere spontaneamente se l'energia libera dei prodotti è inferiore a quella dei reagenti, cioè se $\Delta G < 0$

Possiamo allora dire che un processo è spontaneo se l'energia libera diminuisce.

A seconda del valore che può assumere ΔG possiamo avere tre situazioni:

$\Delta G < 0$ la reazione è spontanea

$\Delta G > 0$ la reazione non è spontanea, ma lo è la reazione inversa

$\Delta G = 0$ la reazione è in equilibrio

Esercizio: Riordinare i seguenti concetti all'interno di una mappa mediante collegamenti appropriati

Reazione non spontanea
ΔG
Reazione spontanea
Reazione in equilibrio

E' possibile calcolare la variazione di energia libera ΔG di una reazione se si conosce l'energia libera standard di formazione dei prodotti ΔG_f° prodotti, e dei reagenti ΔG_f° reagenti, applicando la relazione:

$$\Delta G_{\text{reazione}} = \Delta G_f^\circ \text{ prodotti} - \Delta G_f^\circ \text{ reagenti}$$

Il valore di ΔG_f° dà una misura della stabilità di una sostanza; tanto più è negativo tale valore, più il composto è stabile. Se invece risulta positivo il composto è instabile.

Proposizione di una discussione per dedurre il perché la dissoluzione del Nitrato di Ammonio a $25^\circ C$ è un fenomeno spontaneo.

Si propone la risoluzione guidata del problema precedente con l'aiuto dell'insegnante.

A questo punto l'insegnante risolve il terzo quesito del problema iniziale.

$$\Delta G_f^\circ CO_{(g)} = -137,2 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_f^\circ C_{(s)} = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_f^\circ O_{2(g)} = 0$$

$$\Delta G = 2 \times (-137,2) - 0 - 0 = -274,4 \text{ kJ/mol}$$

La reazione è spontanea?

Socializzazione della risposta

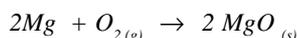
Esercizio: Legare in una mappa concettuale $T \times \Delta S$ (il prodotto delle due grandezze), G, H. **93**

Attività III Problem solving nell'aula-laboratorio (2 h)

Dopo un breve riepilogo delle lezioni precedenti effettuato utilizzando le mappe concettuali come "strategia riassuntiva", l'insegnante propone alla classe una serie di problemi da risolvere.

Lista di problemi [21]

1) Determinare se la reazione di combustione del Magnesio è spontanea a 298° K dai seguenti dati:



$$\Delta H = -1203,4 \text{ kJ}$$

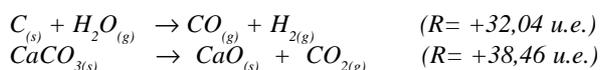
$$\Delta S = -216,25 \text{ J/mol } ^\circ K$$

Soluzione:

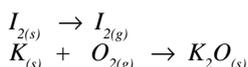
$$G = H - TS = -1203,4 - 298 (-0,216) = -1203,4 + 64,37 = -1139 \text{ kJ}$$

Dai dati emerge che la reazione è spontanea, pur procedendo con diminuzione di Entropia. Questo fatto è comune a tutte le reazioni di sintesi condotte a temperatura moderata.

2) Dai valori entropici standard della tabella calcolare la variazione di entropia standard a 25°C per le seguenti reazioni; dai valori ottenuti stabilire quindi se la reazione avviene con aumento del disordine molecolare:

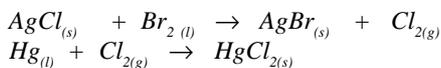


3) Per ognuno dei seguenti processi indicare se la variazione di entropia è positiva o negativa, giustificando ogni affermazione:



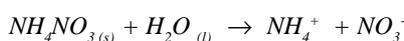
Bilanciare le reazioni ove necessario

4) Calcolare l'entropia standard di reazione a 298° K di:



Leggere le entropie std sulle tabelle
Bilanciare le reazioni ove necessario

5) Calcolare la variazione di energia libera nel processo di solubilizzazione del Nitrato d'Ammonio che è rappresentato dalla seguente equazione:



$$(\Delta H = 25 \text{ kJ}; \Delta S = 108,7 \text{ J/mol K}; T = 25^\circ C)$$

Soluzione:

94

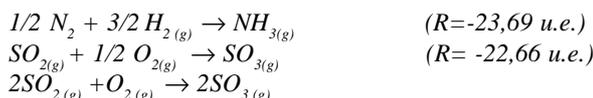
Se trasformiamo il valore di ΔS da J in kJ e consideriamo una temperatura di 25°C, cioè di 298° K, il valore di

energia libera assume il valore:

$$G = H - TS = +25 - 298 \times 0,1087 = 25 - 32,39 = -7,39 \text{ kJ/mol.}$$

G risulta minore di zero, e questo spiega perché il processo di dissoluzione di NH_4NO_3 in acqua risulta spontaneo (pur essendo endotermico).

6) Dai valori entropici standard della tabella calcolare la variazione di entropia standard a 25°C per le seguenti reazioni; dai valori ottenuti stabilire quindi se la reazione avviene con aumento del disordine molecolare:



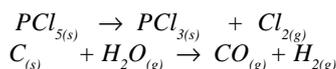
Soluzione:

$$S = S^\circ_{\text{prodotti}} - S^\circ_{\text{reagenti}} = 2x (S^\circ SO_3) - 2x (S^\circ SO_2) - S^\circ O_2 =$$

$$= 2x (+257) - 2x (+248) - (+205) = 514 - 496 - 205 =$$

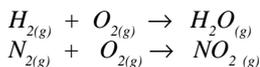
$$= 514 - 701 = -187 \text{ J/mol K. Si evidenzia che in effetti la reazione procede con diminuzione di entropia.}$$

7) Per ognuno dei seguenti processi indica se la variazione di entropia è positiva o negativa, giustificando ogni affermazione:



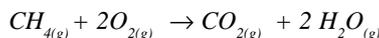
Bilanciare le reazioni ove necessario

8) Calcolare l'entropia standard di reazione a 298° K di:



Bilanciare le reazioni ove necessario

9) Calcolare la variazione di energia libera di combustione del metano dalle energie libere standard di formazione dei reagenti e dei prodotti:



$$\Delta G^\circ_f CH_{4(g)} = -50,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f O_{2(g)} = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f CO_{2(g)} = -394,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f H_2O_{(g)} = -228,6 \text{ kJ/mol}$$

Soluzione:

$$\Delta G_{\text{reaz}} = \Delta G^\circ_f CO_2 + 2x (\Delta G^\circ_f H_2O) - \Delta G^\circ_f CH_4 - 2x (\Delta G^\circ_f O_2) =$$

$$= -394,4 + 2x (-228,6) - (-50,8) + 2x 0 =$$

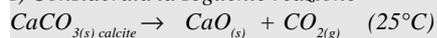
$$= -394,4 - 457,2 + 50,8 = -800,8 \text{ kJ/mol}$$

Attività IV: Verifica (2h)

Vengono proposti due compiti diversi (ma di identica impostazione).

Compito A

I) Considerata la seguente reazione



calcolare:

- 1) ΔG
- 2) ΔS
- 3) T assoluta alla quale il processo risulta spontaneo

Attenzione alle unità di misura!! (coerenza). Tot 3 punti

II) Costruire una mappa concettuale legando:

Legge di Hess, S, ΔS , variazione di disordine (ordine).

Esplicitare i collegamenti mediante parole di collegamento oppure con commento a fianco.

Compito B



calcolare:

- 1) ΔG
- 2) ΔS
- 3) Indicare se la reazione considerata è spontanea
- 4) Indicare se era possibile (e come) prevedere il segno della variazione di entropia senza fare i calcoli.

Attenzione alle unità di misura!! (coerenza). Tot 3 punti

II) Costruire una mappa concettuale utilizzando i concetti di: **Spontaneità, H, G, ΔG , S.**

Esplicitare i collegamenti mediante parole di collegamento oppure con commento a fianco.

Griglia per la correzione utilizzata

Compito A		Compito B	
Esercizio 1	Punti	Esercizio	Punti
Calcolo di ΔG	2	Calcolo di ΔG	2
Calcolo di ΔS	2	Calcolo di ΔS	2
T assoluta	2	Spontaneità	1
		Previsione teorica ΔS	1
Esercizio 2 (Mappa)	2	Esercizio 2 (Mappa)	2
Totale	8	Totale	8

Nota sulla valutazione delle mappe

In accordo con le teorie di Novak e Gowin [16] è stato considerato rilevante il numero e la qualità dei legami proposizionali tra i concetti e gli eventuali esempi (che devono essere fuori dalle etichette); notevole importanza è stata inoltre assegnata all'individuazione dei livelli gerarchici, ma fattore determinante è stato considerato la rappresentazione dei legami trasversali, soprattutto quelli interlivello. Ovviamente l'esiguo numero di concetti indicati negli esercizi proposti ha limitato la valutazione prevalentemente ai primi punti, ma più dettagliate elaborazioni sono state giustamente premiate. Fondamentali sono state considerate le esplicitazioni relative ai collegamenti, mediante parole-legame o breve commento a fianco, poiché la natura strettamente personale di ogni mappa può impedire all'insegnante appropriate inferenze.

Corrispondenza tra punteggio e voto

Voto	Punteggio
3	0-1
4	2-4
5	5
6	6
7	7
8	8

Riflessioni sul progetto, sui risultati e sui problemi applicativi (quelli riscontrati e quelli eventualmente possibili)

L'intervento è stato condotto in una classe quarta ITIS (indirizzo di specializzazione FASE) composta da 19 allievi, raccordandolo con la programmazione del docente di Chimica ambientale all'interno del modulo di termodinamica.

Nel compito A, su 80 punti disponibili (10 allievi), ne sono stati ottenuti in totale 56 (5 sufficienze e 5 insufficienze, voto più alto 8, voto più basso 4). I problemi minori si sono avuti sul calcolo del ΔG e del ΔS , con rispettivamente il 77% e l'82% di successi. Il calcolo della temperatura di spontaneità ha permesso la raccolta di 7 punti su 20 (35%). La mappa concettuale ha fatto raccogliere 17,5 punti su 20 (87,5%).

Nonostante le raccomandazioni sono stati frequenti gli errori sulle unità di misura J e kJ nel calcolo del ΔG ; si sottolinea che in tabella le unità di misura per S e H non erano uniformi.

L'impressione è che si debba insistere sul concetto di T di equilibrio e sull'influenza di T nella spontaneità di reazione.

Nel compito B sono state rilevate 4 insufficienze su 9, con voto più alto 8, più basso 4; in totale 52 punti su 72 disponibili. Hanno effettuato correttamente il calcolo su S il 63% dei ragazzi, il calcolo del G il 69%. Alla domanda Numero 1 circa la spontaneità della reazione ha risposto corretta-

mente l'83%; alla domanda Numero 2 sulla previsione di ΔS senza calcoli il 61%. La mappa è stata compilata correttamente dall'80% dei ragazzi. Diversi aspetti fanno pensare alla presenza in questo gruppo degli elementi peggiori, in particolare i risultati ottenuti nell'elaborazione della mappa concettuale.

Anche in questo compito sono stati frequenti gli errori sulle unità di misura; inoltre, nel calcolo del ΔS e del ΔG , ha influito negativamente la presenza dei coefficienti di reazione, spesso omessi, che nel compito A erano unitari (infatti qui la percentuale di successi è più bassa). Anche nella previsione teorica del ΔS spesso gli allievi non hanno tenuto conto dei coefficienti, pur se ininfluenti data la stechiometria della reazione.

Si precisa che l'apparente maggiore difficoltà del compito A per la domanda sulla T_{eq}/T_{spont} è compensata dalla reazione più facile a coefficienti unitari.

Nella elaborazione delle verifiche si era coscienti delle differenze tra i due compiti, ma si volevano verificare alcune idee utilizzando diversi strumenti e criteri, anche se si correavano rischi sulla confrontabilità tra i risultati globali dei due modelli; il fatto che questi alla fine siano paragonabili, unito ad alcune osservazioni posteriori, è probabilmente un successo organizzativo e la conferma di alcune idee:

1) Gli errori dovuti a omissione dei coefficienti stechiometrici nei calcoli del compito B sono da considerare come testimonianza di lacune nel ragionamento e non come conseguenza di disattenzione.

2) Nel compito A gli errori e le omissioni nel calcolo della T di spontaneità sono probabilmente dello stesso tipo; d'altronde come spiegare che tutti gli studenti che hanno almeno abbozzato una risposta corretta (6 su 10), pur non indicando l'esatto valore di T_{eq} da cui derivare la T di spontaneità (solo uno l'ha fatto), sono comunque pervenuti al calcolo o all'indicazione di un valore di T a cui la reazione è spontanea? Costoro, secondo noi dimostrano (male) di aver compreso il concetto. Nella correzione il nostro pensiero è corso fino a Comenio: secondo quanto riportato in "Orbis sensualium pictus", sarebbe questo un tipico esempio di quello che l'autore definiva *mandorle senza guscio* [1], ovvero "sostanza con poca forma", e quindi ragionamento privo di una comunicazione efficace.

3) Se è vero che un maggior numero di esercizi "dedicati" avrebbe diminuito gli errori e migliorato i punteggi sia sulla T di spontaneità che nella reazione a coefficienti non unitari, e quindi in entrambi i compiti, è anche probabile che la migliore preparazione sarebbe stata solo di tipo "addestrativo". Pensiamo che una buona percentuale di errori nelle unità di misura abbia come causa un modo di procedere "superficial-comportamentista" abbastanza consolidato, soprattutto in considerazione delle raccomandazioni fatte (anche sul compito). D'altronde come interpretare il 61% di successi (soltanto !!) alla domanda 2 del compito B sulla previsione di ΔS senza calcoli?

4) Durante la correzione si è riflettuto sul fatto che i limiti di una verifica mediante risoluzione di problemi si esprimono attraverso quel che spesso un insegnante giudica disattenzione, mentre nella realtà più che il frutto di divagazioni mentali estemporanee, gli errori possono essere il risultato di un ragionamento poco accurato (o di un'assenza di ragionamento). Abbiamo trovato interessante la contemporanea presenza in alcuni compiti di esercizi risolti abbastanza correttamente accanto a mappe palesemente sba-

gliate o assenti; un'apparente paradosso prova allo stesso tempo i limiti e la complementarietà dei due strumenti didattici.

5) Probabilmente anche le mappe concettuali possono prestarti ad un uso improprio, come schema da imparare a memoria. Per questo motivo è senz'altro più corretto considerarle strumenti di verifica per l'avvenuta rielaborazione "ad personam", piuttosto che strategie di esplicitazione per una valutazione sommativa; infatti non si può prescindere dal loro carattere individuale. Per questo motivo se è vero che nella verifica sono risultate per lo più corrette e in linea con le attese, si nutrono dei dubbi "posteriori" legati alla palese omogeneità. Accanto alla lieta consapevolezza che è passato quello che si voleva, permane il dubbio che ciò sia avvenuto acriticamente; in sostanza, pur se molto scarse e spesso prive di spiegazioni a fianco, le mappe sono come le avrebbe fatte l'insegnante. L'omogeneità delle mappe probabilmente è dovuta anche al fatto che è stata richiesta la costruzione di schemi molto semplici e senza collegamenti anteriori a questo intervento.

Un'ulteriore fase di valutazione potrebbe essere rappresentata, come suggerisce Damiano[22], da una "conversazione clinica" che potrebbe, se ben strutturata, rappresentare uno strumento per dare ulteriori informazioni al docente sulla reale portata del traguardo ottenuto. Tale attività verrebbe attuata selezionando alcune domande da porre agli studenti sia all'inizio dell'intervento, per meglio definire le preconoscenze dal quale far scaturire le prime mappe, sia in sede di verifica finale, riproponendo le stesse domande agli studenti, per riscontrare la corrispondenza tra quanto risultato dall'elaborazione delle mappe finali degli studenti e quanto emerso dalle risposte scaturite dalla "conversazione clinica".

6) Un questionario fatto compilare agli allievi alla fine dell'intervento ha permesso un feedback sull'intero lavoro. La totalità dei ragazzi conferma di aver compreso i concetti di questo I.D.; le difficoltà maggiori si sono avute sulla comprensione e determinazione del ΔG (il 16%) e su calcoli e segni (10%). Il 25% dichiara di non aver avuto nessuna difficoltà, mentre qualcuno riferisce problemi su Entalpia ed energia di legame (soprattutto triplo), ovvero su argomenti direttamente collegati ma antecedenti a questo lavoro. La classe dichiara di aver avuto strumenti sufficienti e conferma l'impressione iniziale di abitudine a uno "studio sugli appunti"; pochi utilizzano il libro. Il 60% ha espresso curiosità e voglia di approfondimenti. Per la totalità mappe concettuali e problem solving sono serviti per capire meglio (li userebbero di nuovo); in particolare alcuni affermano che "le mappe sono utili per ragionare e collegare gli argomenti", uno le dichiara utili ai fini della "connessione logica". Il 30% della classe estenderebbe questi strumenti a tutte le materie scientifiche, il 25% lo farebbe per storia, diritto, italiano e "tutte le materie discorsive". Il 25% degli allievi li ritengono utili per "quasi tutte le materie" (uno è convinto che le mappe concettuali possano aiutare nella lettura di libri difficili). Tra le motivazioni addotte circa le possibili estensioni delle mappe concettuali ad altri contesti ci sono: l'adattabilità, la possibilità di collegamenti e la possibilità di capire meglio.

Conclusioni

Il fatto che i concetti oggetto dell'intervento possano apparire avulsi dalla quotidianità degli allievi, unito al carattere sperimentale del lavoro (finalizzato allo sviluppo di un

modello didattico con l'attuazione di rappresentazioni logico-iconiche), ha indotto all'impiego in alcuni tratti del problem solving, soprattutto per motivare i ragazzi riducendo il distacco tra i concetti e la loro realtà. Il contesto classe ha mostrato di non avere bisogno di questo tipo di attenzioni; infatti gli allievi sono stati sempre attivi, e francamente il tipo di esercizi era troppo slegato da quella che può essere la loro vita. Probabilmente era possibile scegliere esercizi diversi e più in linea con gli interessi degli studenti, ma il margine concesso dai concetti in esame sarebbe stato comunque esiguo. Il problem solving è servito comunque a mostrare come in un buon gruppo, composto di elementi intelligenti e in qualche caso chiaramente trainanti, un processo di apprendimento può portare a risultati apparentemente positivi anche attraverso vie pedestri prive di rielaborazione critica.

Le mappe utilizzate durante lo svolgimento dell'intervento hanno permesso la semplificazione e la quasi immediata comprensione di concetti "notoriamente" difficili; tali sono i riscontri avuti sugli esercizi di costruzione delle mappe assegnati (ad esempio nella parte finale dell'attività II). Le basi della buona riuscita di questi processi noi crediamo vadano ricercate anche al di là di motivazioni strettamente didattiche; le percezioni avute nel corso della conduzione dell'intervento, soprattutto nelle fasi più critiche dell'introduzione di un nuovo concetto (momenti particolarmente delicati, come ben sanno tutti gli insegnanti di materie scientifiche) hanno fatto sospettare ragioni di ordine psicologico. E' difficile valutare esattamente quanto ciò sia dovuto al carattere di relativa novità degli strumenti utilizzati; comunque, anche in tal caso, il valore del lavoro probabilmente non ne viene affatto sminuito. Si è notato come gli allievi facessero propri i concetti oggetto dell'intervento; ogni volta, la costruzione di una mappa concettuale personale "in itinere", fatta percepire prevalentemente come "schema riepilogativo", ha messo in moto in ciascuno una sorta di "partecipazione attiva del sé"; in certi momenti abbiamo pensato alla similitudine con certe iniziative scolastiche della scuola elementare sul tipo delle gare per la costruzione di presepi; metaforicamente, alla fine era come se tutti i presepi "termodinamici" fossero corretti, con i personaggi-concetto al loro giusto posto. Nessuna composizione era però esattamente uguale alle altre, avendo anzi ognuna una particolarità distintiva e personalizzante, spesso una parola/frase di collegamento piuttosto che un'altra. Nella verifica la costruzione personale delle mappe si è rivelata sostanzialmente corretta, facendo venire il sospetto di una elaborazione eccessivamente legata ai canoni dell'insegnante. Durante la correzione a tratti sono emersi dubbi su un rischio di "trasmissività" delle mappe stesse, qualora non vengano usate in maniera critica e consapevole; al riguardo, siamo d'accordo con chi paventa, per gli insegnanti, il rischio di elaborare strutture troppo standard da confrontare poi con quelle degli allievi. Questi, anche secondo noi, devono essere sollecitati a costruire più mappe per lo stesso argomento, in modo da abituarsi alla molteplicità degli schemi concettuali che riflette la molteplicità dei punti di attacco di una determinata porzione di sapere [23]. Per lo stesso motivo siamo d'accordo anche sul fatto che probabilmente al termine "mappa concettuale" è preferibile quello di "organizzazione concettuale", in quanto è maggiormente coerente con le caratteristiche di "fluidità" del pensiero umano. L'omogeneità rilevata negli schemi delle verifiche

è certamente legata all'esiguo numero di concetti, ma gli argomenti, il carattere di per sé sperimentale del lavoro e il tempo a disposizione non ne hanno permesso un uso più sistematico. In tale contesto il "sospetto" (speranza) di un'avvenuta attività di metariflessione è motivato soprattutto dall'analisi del feedback, ma per fugare i dubbi occorrerebbe un lavoro ulteriore. Potrebbe essere attuata una verifica mediante un "colloquio clinico" al fine di stabilire l'effettiva significatività della ristrutturazione cognitiva.

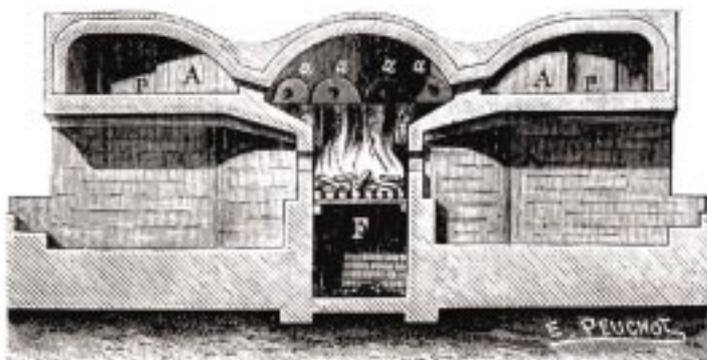
E' indubbio che a fronte di pochi e preparatissimi docenti, la maggior parte degli insegnanti non ha molta dimestichezza (simpatia?) verso le mappe concettuali. A volte accade che taluni specialisti arrivino a sofismi di altissimo valore intellettuale ma di improbabile utilità pratica; qualcuno critica i lavori di Novak e Gowin dichiarandone la limitatezza legata al carattere troppo "inclusivo" delle mappe proposte, arrivando addirittura a distinguere, ad esempio, tra *concetti-evento*, *concetti-oggetto*, *concetti-persone*, *concetti-luogo*, *concetti-astrazione* (?) e *concetti-definizione*; tra *mappe mentali*, *cognitive* e *strutturali*; tra collegamenti di *causa-effetto*, di *fine o scopo*, *collegamenti temporali*, *transitivi o predicativi*, *spaziali*, di *addizione*, *ordine*, *paragone* o di *contrasto*, di *esplicazione* o *esemplificazione*, *nominali* ecc [20]

Il valore (teorico) di questi lavori è indiscutibile, ma probabilmente non giovano (anzi) alla diffusione delle mappe concettuali, che devono essere prima di tutto strumento di chiarimento, esplicitazione e aiuto nello studio. L'utilità delle mappe concettuali è indiscutibile per tutti quegli insegnanti che, lungi dal considerare l'allievo come un contenitore vuoto da riempire di nozioni, sono realmente interessati ai *processi* di insegnamento-apprendimento considerati in senso dinamico. E' evidente che la mappa concettuale consente di rilevare le concezioni iniziali degli allievi da cui partire per l'attività didattica, ma fornisce anche l'opportunità di monitorare l'intero processo "in divenire". E' questo il motivo per cui chi scrive, alla fine di questo lavoro, è convinto che le mappe concettuali nella valutazione debbano essere uno strumento prevalentemente formativo (considerando anche il carattere strettamente individuale). Alcuni insegnanti trovano nelle mappe concettuali poco di nuovo rispetto al classico schema riepilogativo/riassuntivo della tradizione scolastica; se, ed in qualunque misura questo fosse vero, non bisogna dimenticare che la realtà di molte classi, soprattutto dell'istruzione tecnica e professionale, è quella di alunni sempre meno impegnati-motivati nello studio individuale e nella riflessione, con la diffusione indiscriminata e senza filtri, ma anzi amplificata dalla pubblicità, delle nuove tecnologie, non estranea a questo stato di cose. Chi scrive pensa che valga la pena di sperimentare lavori come quello presentato in questo articolo, e considera le mappe concettuali come uno strumento utile e innovativo, avendo verificato che anche un ossimoro (apparente...) può risultare efficace.

Bibliografia

- [1] B. Volpi, *Pedagogia e Psicologia*, Casa Editrice Universa, Roma, 1997.
- [2] G. Chiosso, *Elementi di Pedagogia*, Brescia, La Scuola, 2002.
- [3] M. Montessori, *La mente del bambino*, Garzanti, Milano, 1975.

- [4] M. Montessori, *Come educare il potenziale umano*, Garzanti, Milano, 1970.
- [5] C. La Neve, *Elementi di didattica generale*, La Scuola, Brescia, 1993.
- [6] S. Buonomo, S. Silvestri, Corso di formazione e aggiornamento *Didattica in 100 ricette*, ANISN Piemonte, Torino, 2001.
- [7] M. De Beni, *Costruire l'apprendimento*, La Scuola, Brescia, 1994.
- [8] P. Angela, *Viaggio nella scienza*, Mondadori, Milano, 2002.
- [9] K. Popper, *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna, 1972.
- [10] K. Popper, *Tutta la vita è risolvere problemi*, Rusconi, Milano, 1996.
- [11] M. Comoglio, *Cognitivismo*, in: J.M. Prelezo, C. Nanni, G. Malizia, *Dizionario di scienze dell'educazione*. ELLEDICI-LAS-SEI, Roma, 1997.
- [12] E. Roletto, *Apprendimento delle scienze e didattiche disciplinari*, Iridis, Torino, 2003.
- [13] J. Piaget, *La psicologia dell'intelligenza*, trad. it. Ed. Universitaria, Firenze, 1952.
- [14] J.S. Bruner, *Psicologia della conoscenza* trad. it. Armando, Roma, 1973, (voll 1-2).
- [15] D.P. Ausubel, (1967), *Educazione e processi cognitivi*, trad. it. Angeli, Milano, 1999.
- [16] J.D. Novak, *L'apprendimento significativo. Le mappe concettuali per creare e usare la conoscenza*, trad. it. Erickson, Trento, 2001.
- [17] D.B. Gowin, J.D. Novak, *Imparando a imparare*, trad. it. SEI, Torino, 1989.
- [18] A. Argenton, L. Messina, *Concettualizzazione e istruzione*, Il Mulino, Bologna, 1990.
- [19] B.F. Skinner, *Pensare ed apprendere*, Armando, Roma, 1992.
- [20] M. Guastavigna, M. Gineprini, *Mappe concettuali nella didattica*, www.pavonerisorse.to.it/cacrt/mappe.
- [21] S. Paschetto, *Chimica fisica*, Masson editori, Milano, 1984 (III vol).
- [22] E. Damiano, *Insegnare con i concetti. Un modello didattico tra scienza e scuola*, Sei, Torino, 1994.
- [23] E. Roletto, P.G. Albertazzi, A. Regis, Capire cosa capiscono gli studenti: le mappe concettuali, *Didattica delle Scienze*, (164), 22-28, 1993.



Four de verrerie au bois.

PREMIO NOBEL PER LA CHIMICA 2005

La reazione di metatesi: pietra miliare nell'evoluzione della sintesi organica

PINI DARIO*

Il premio Nobel per la Chimica, nel 2005 è stato assegnato in parti uguali a tre ricercatori, un francese, Yves Chauvin, e due statunitensi, Robert H. Grubbs e Richard R. Schrock.



Yves Chauvin



Robert H. Grubbs



Richard R. Schrock

Chauvin ha iniziato e continuato la sua carriera nell'industria petrolifera, l'Institut Français du Pétrole Rueil-Malmaison, France. Schrock, pur iniziando a lavorare nell'industria Dupont è poi passato al Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA, dove si trova tuttora. Viceversa Grubbs ha svolto sempre la sua attività di ricerca in ambiente universitario ed attualmente è al California Institute of Technology, Pasadena, USA. La motivazione del premio è "lo sviluppo della metodologia di metatesi in sintesi organica".

La sintesi organica è sempre più indirizzata alla preparazione di nuove molecole organiche, o alla messa a punto di metodi innovativi per la sintesi di molecole già note, destinate alla produzione di farmaci, di nuovi materiali e di sostanze organiche naturali utili per le biotecnologie.

In particolare negli ultimi 20 anni è stata rivolta molta attenzione a processi sintetici aventi non solo elevata efficienza ma anche alta sostenibilità ambientale. L'obiettivo di ridurre simultaneamente lo sfruttamento eccessivo delle materie prime e la produzione di rifiuti ha assunto nuova urgenza per la comunità chimica in quanto la società pone importanza sempre crescente alla salvaguardia dell'ambiente. Così, la produzione della miriade di sostanze che sono richieste per soddisfare le necessità della società, spaziando dalla scienza di una gran quantità di materiali alla cura della salute, deve rivolgersi ad una efficienza sintetica non solo in termini di selettività (chemo-, regio-

99

* Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Via Risorgimento, 35 - 50126 Pisa

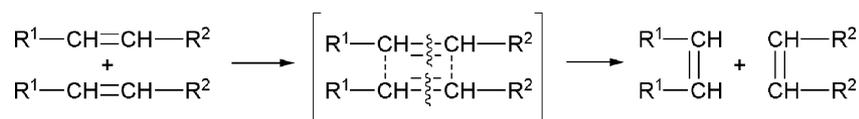
diastereo- ed enantioselettività) ma sempre più in termini di economia di atomi (*atom economy*), ossia, *in termini di sfruttamento al massimo del numero di atomi di tutte le molecole di reagenti che vanno a finire nel prodotto*. Sul concetto di “economicità di atomi” si innesta inevitabilmente quello di *green chemistry*, ossia di una chimica che racchiude tutti gli aspetti e i tipi di processi chimici che riducono l’impatto negativo per la salute umana e l’ambiente.

Le scoperte di questi ricercatori premiati con il Nobel hanno dato un contributo fondamentale per la messa a punto di una particolare metodologia di sintesi, la metatesi, che offre eccezionali possibilità per costruire molecole orga-

niche, anche nuove, in linea con i concetti su esposti e che oggi è utilizzata correntemente sia in campo accademico che nell’industria chimica.

La parola metatesi deriva dal greco ed è l’unione di due vocaboli, *meta* (cambio) *tesis* (posizione).

La reazione di metatesi più nota è quella che avviene tra doppi legami carbonio-carbonio di sistemi olefinici: i doppi legami si rompono e le parti che si ottengono si accoppiano tra loro in modo diverso, dando luogo a prodotti con una diversa distribuzione dello scheletro degli atomi di C e con caratteristiche e proprietà che differiscono sensibilmente da quelle dei reagenti di partenza (Schema 1).



Schema 1. Schematizzazione della reazione di metatesi tra olefine

Questo però non si verifica spontaneamente, ma è necessario l’intervento di catalizzatori, ossia di particolari specie molecolari che favoriscono cineticamente questo fenomeno abbassandone l’energia di attivazione.

Le ricerche congiunte dei tre ricercatori da un lato hanno portato a chiarire il meccanismo della metatesi, ossia la successione di avvenimenti che si verificano in tale reazione, dall’altro a sviluppare nuovi catalizzatori sempre più efficienti e di vasta applicabilità.

Sono stati usati i termini “chiarire e sviluppare” la reazione di metatesi, in quanto il fenomeno della metatesi era stato osservato ed individuato prima delle ricerche dei tre premiati anche se con una non-consapevolezza del fenomeno, pur intuendone l’importanza e la potenzialità. Ricerche antecedenti nascono nell’industria petrolchimica dove venivano studiate nuove reazioni per la trasformazione dei prodotti del petrolio.

Una tra le prime notizie che si hanno in letteratura di una reazione rivelatasi successivamente come di metatesi, risale al 1957 ed è dovuta ad H.C.Eleuterio¹, ricercatore dell’industria Dupont: mentre studiava la polimerizzazione del propilene in presenza di un sistema catalitico costituito dalla combinazione di MoO₃ con Al₂O₃, trovò con sorpresa che il prodotto era un copolimero etilene/2-butene e non il previsto poli-propilene. Evidentemente il catalizzatore provocava inizialmente un disproporzionamento tra due molecole di propilene in due nuove molecole, l’etilene ed il 2-butene, dando luogo poi alla copolimerizzazione di quest’ultime.

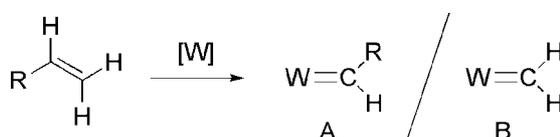
Successivamente, agli inizi del 1960, due ricercatori della Phillips Petroleum² e due ricercatori della Standard Oil³ brevettavano due catalizzatori, rispettivamente Co-MoO_n e W(CO)₆/Al₂O₃, per la trasformazione del propilene in etilene e 2-butene: infatti in quegli anni nell’industria c’era un’abbondanza di propilene e c’era l’esigenza di trasformarlo nelle altre due olefine che avevano un più largo uso. Ancora negli anni ‘60 c’era la necessità di trovare un uti-

lizzo di olefine cicliche provenienti dal petrolio: in questo campo sono stati fondamentali i lavori di ricercatori italiani,⁴ che, per conto dell’industria Montedison e coordinati da G.Natta (premio Nobel nel 1963 insieme a K.Zielger), riuscirono a trovare catalizzatori efficienti che aprivano le olefine cicliche polimerizzandole.

Nel 1972, N.Calderon⁵ dell’industria Goodyear, utilizzò lo stesso tipo di sistema catalitico, WCl₆/EtOH/AlEt₃, per effettuare sia il disproporzionamento di olefine lineari che la polimerizzazione delle cicloolefine, intuendo che avvenivano con lo stesso tipo di reazione, ossia con rottura dei doppi legami, scambio dei gruppi ad essi legati e successiva loro ricombinazione: è stato lui a coniare per la prima volta il nome di metatesi per questo tipo di reazioni. Tuttavia nessuno riusciva ancora a capire come era la vera natura del catalizzatore, e quindi a razionalizzarne il funzionamento, comprendendo il suo ruolo nella reazione di metatesi. Comunque si stava sviluppando la consapevolezza delle enormi possibilità offerte dalla metatesi per costruire nuovi composti organici.

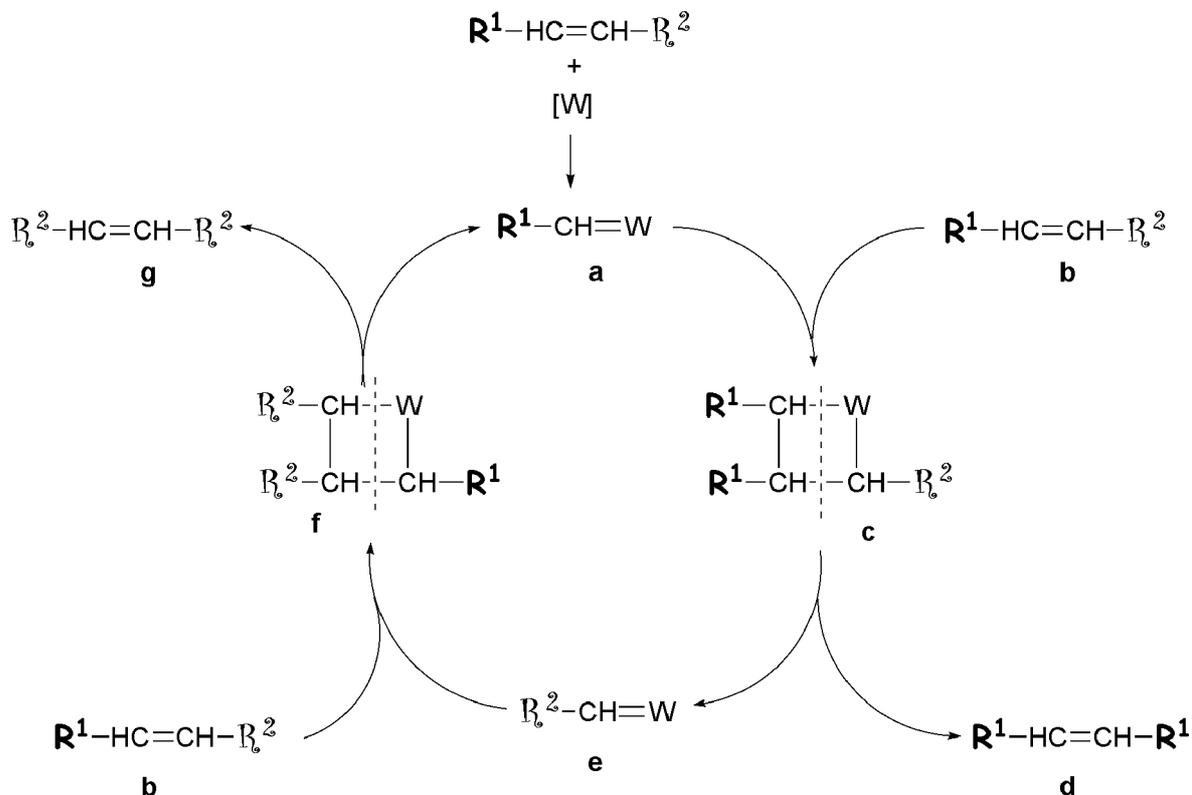
Un fondamentale passo avanti fu fatto da Y.Chauvin nel 1971. In base ai risultati ottenuti, utilizzando sistemi catalitici costituiti da WCl₄/Al(C₂H₅)₂Cl o WCl₄/Sn(C₄H₉)₄ nella reazione di metatesi di olefine acicliche terminali e di olefine cicliche con polimerizzazione (vedi in seguito schema), egli per la prima volta ha formulato ipotesi sia sulla vera natura del catalizzatore che sul meccanismo con cui esso lavora⁶. Le ipotesi da lui avanzate oggi sono globalmente accettate da tutti i ricercatori che si occupano espressamente di metatesi o la usano come stadio di reazione nella sintesi di prodotti naturali o di farmaci.

Secondo Chauvin il catalizzatore è un composto organometallico, una specie metallo-carbenica (indicata generalmente come metallo-alchilidene), formata *in situ* per reazione del sale di W con il substrato olefinico, in cui il metallo è legato al carbonio con un doppio legame (Schema 2)



Schema 2. Formazione in situ dei tungsteno-alchilideni

Il sale di W reagendo con una molecole di olefina dà luogo alla specie A o a quella B che poi continua la reazione instaurando il ciclo catalitico che Chauvin, nel lavoro del 1971, ipotizza come riportato nello Schema 3, in cui è illustrato il disproporzionamento di olefine. Lo stesso tipo di meccanismo è ritenuto valido anche nel caso della polimerizzazione di olefine cicliche.



Schema 3. Meccanismi di metatesi nel disproporzionamento di olefine secondo Chauvin

In una prima fase, il metallo-alchilidene a, formatosi *in situ*, reagisce con una molecola di olefina b per dare luogo, dopo rottura dei doppi legami, all'intermedio a quattro termini c. In una fase successiva, c per rottura di due legami forma un'olefina d con diversa struttura rispetto a quella di partenza b ed un nuovo metallo-alchilidene e, il quale reagisce con un'altra molecola di olefina b per formare una nuova struttura a quattro termini f che con lo stesso meccanismo conduce alla nuova olefina g e ripristina il catalizzatore iniziale a che può ricominciare il ciclo.

L'ipotesi di Chauvin, di formazione di legami metallo-alchilidene nel catalizzatore, spinse la ricerca verso la progettazione e costruzione di nuovi catalizzatori da usare nella metatesi, conferendo a tale reazione sempre maggiore potenzialità e larga applicabilità: l'interesse scientifico e culturale si spostava sempre di più verso una ricerca orientata all'applicazione pratica in industria di tale reazione.

Fino qui la maggior parte del lavoro era stato fatto con sistemi catalitici multi-componenti a composizione non ben definita. A questo punto il problema era come progettare e realizzare concretamente complessi metallo-alchilidenici a struttura ben definita efficienti e stabili, da impiegare come catalizzatori di metatesi in condizioni di reazione non particolari e le più accessibili possibile, i quali operassero su una vasta gamma di substrati olefinici contenenti anche gruppi funzionali diversi.

Il progresso in tal senso è stato realizzato dalle ricerche di Schrock e Grubbs: molti dei loro sistemi catalitici sono

oggi commerciali e costituiscono una conferma sperimentale dell'ipotesi formulata in precedenza da Chauvin. Schrock⁷ ha indirizzato la sua ricerca nel campo della metatesi verso la sintesi di metallo-alchilideni a base di W e Mo; uno dei più noti ed usati è il complesso di Mo riportato in Figura 1

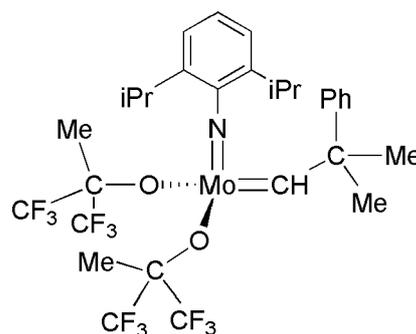


Figura 1. Catalizzatore di metatesi Schrock

Questo tipo di catalizzatori presentano un'alta reattività nei confronti di una vasta gamma di substrati con molte varianti steriche o elettroniche, tuttavia hanno una scarsa tolleranza di gruppi funzionali presenti nei substrati, un'elevata sensibilità all'ossigeno, all'umidità e a tracce di impurezze presenti nei solventi. Inoltre presentano instabilità termica nella conservazione ed un costo di preparazione non basso.

Grubbs⁸ invece ha usato essenzialmente Ru come metallo: due dei suoi sistemi più noti, di prima e seconda generazione, sono riportati in Figura 2

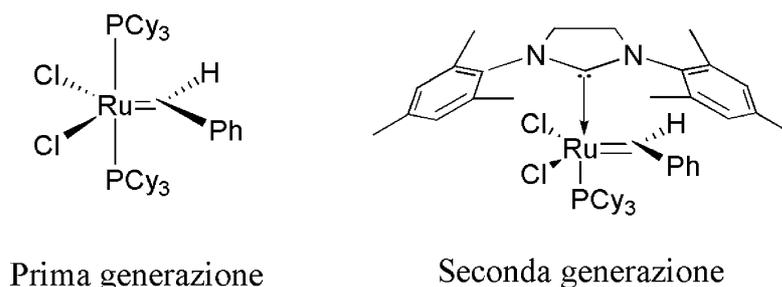
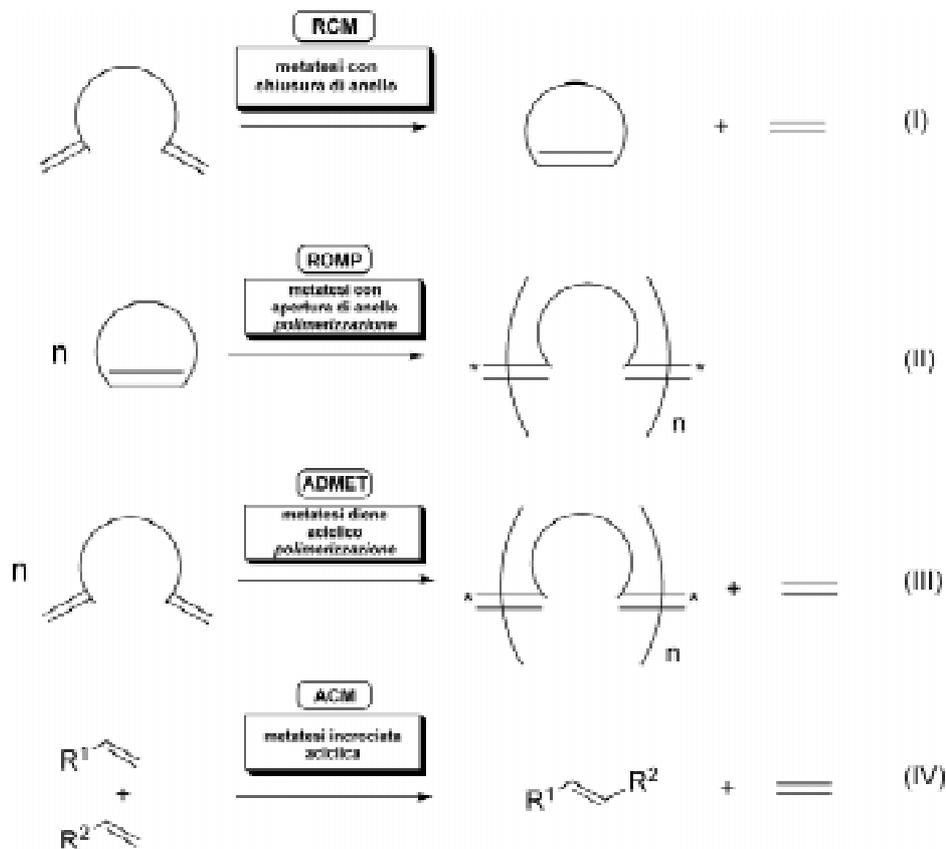


Figura 2. Catalizzatore di metatesi Grubbs

I catalizzatori di Grubbs sono di facile preparazione, reagiscono in condizioni blande ed hanno un'elevata tolleranza verso diversi gruppi funzionali. La loro attività non è ridotta dalla presenza di aria, umidità e piccole impurezze nei solventi di reazione e possono essere conservati anche all'aria per diverse settimane senza decomposizione. Rispetto ai catalizzatori di Schrock hanno però una più bassa reattività specialmente per substrati stericamente ingombri.

Tali catalizzatori a base sia di Mo che di Ru sono stati utilizzati nella sintesi di prodotti organici da impiegare in vari campi, che vanno dalla sintesi totale di sostanze organiche naturali alla preparazione di principi attivi di farmaci antitumorali ed antivirali, alla produzione di nuovi materiali polimerici per alte prestazioni.⁹

I risultati delle ricerche di Chauvin, Shrock e Grubbs si concretizzano nei quattro tipi di reazioni di metatesi, strettamente correlate, oggi largamente utilizzate (Schema 4): la metatesi con chiusura dell'anello, che conduce a cicli contenenti doppi legami (I), la metatesi con apertura dell'anello che generalmente dà luogo a polimerizzazioni (II), la metatesi di dieni aciclici con formazione di polimeri (III) e la metatesi incrociata aciclica che conduce a sistemi contenenti doppi legami di tipo olefinico (IV), note rispettivamente con le sigle RCM, ROMP, ADMET e ACM.

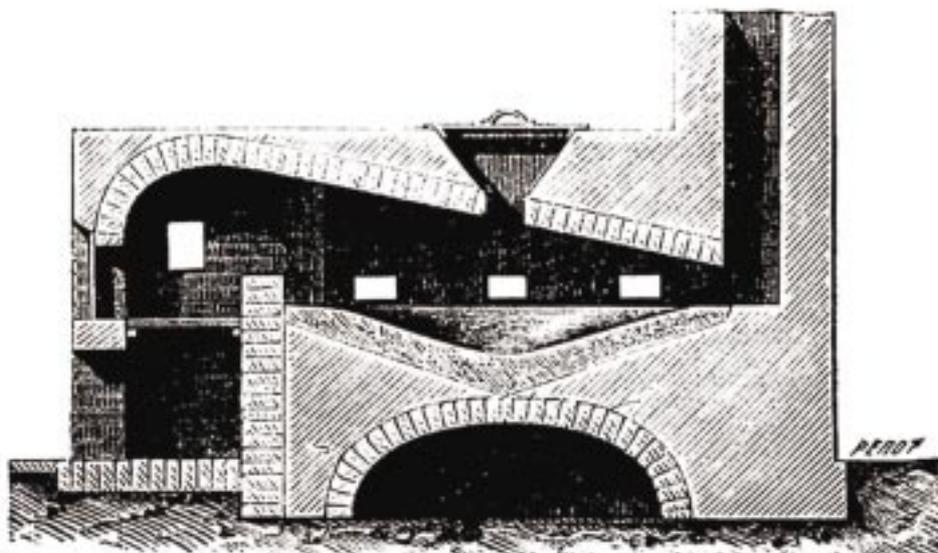


A conclusione di questa rapida descrizione sulla storia e sviluppo della reazione di metatesi è importante far osservare come questo processo di sintesi non richiede l'uso di reattivi addizionali, eccetto che quantità catalitiche di metallo-alchilidene, ed il solo co-prodotto che si può formare è il gas volatile etilene, ossia si dimostra un processo sintetico in linea con i concetti di *atom economy* e di *green chemistry* in precedenza esposti. Di qui la notevole importanza che questo metodo ha assunto per costruire legami C-C come testimoniato dall'elevato numero di pubblicazioni che sono apparse in un breve lasso di tempo riguardanti le applicazioni della metatesi in tutti i vari campi su citati.

Bibliografia

1 H.C.Eleuterio *US Pat. 1072811*, **1960**
 2 R. L. Banks and G. C. Bailey, *I & EC Product Research and Development*, **1964**, 170

3 E.P.Edwin, I.Bernard *US Pat. 2963447*, **1963**
 4 G.Natta, G.Dall'Asta, G.Mazzanti *Angew.Chem.* **1964**, 76, 765
 5 N.Calderon, H.Y.Chen, K.W.Scott, *Tetrahedron Letters*, **1967**, 3327
 6 J.L.Hérisson, Y.Chauvin *Makromol. Chem.* **1971**, 141, 161
 7 a) R.R.Schrock, J.S.Murdzek, G.C.Bazan, J.Robbins, M.Di Mare, M.O'Regan *J.Am.Chem.Soc.* **1990**, 112, 3875; b) J.H.Oskam, H.H.Fox, K.B.Yap, D.H.McConville, R.O'Dell, B.J.Lichtenstein, R.R.Schrock *J.Organomet.Chem.* **1993**, 459, 185
 8 a) S.T.Nguyen, R.H.Grubbs, J.W.Ziller *J.Am.Chem.Soc.* **1993**, 115, 9858; b) P.Schwab, R.H.Grubbs, J.W.Ziller *J.Am.Chem.Soc.* **1996**, 118, 100
 9 a) R.H.Grubbs, S.Chang *Tetrahedron* **1998**, 54, 4413 e letteratura ivi citata; b) A.Furstner *Angew.Chem.Int.Ed.* **2000**, 39, 3012 e letteratura ivi citata; c) K.C.Nicolaou, P.G.Bulger, D.Sarlah *Angew.Chem.Int.Ed.* **2005**, 44, 4490 e letteratura ivi citata



Four à réverbère.

Amedeo Avogadro (1776-1856) e la POLITICA DELLA SCIENZA in Italia

MARCO CIARDI*



Amedeo Avogadro

Lo stato degli studi relativi alla storia della scienza italiana è notevolmente migliorato durante l'ultimo decennio, ed anche il periodo compreso tra la seconda metà del XIX secolo e la prima guerra mondiale, in precedenza scarsamente studiato, è ora maggiormente comprensibile nel suo sviluppo e nella sua complessità. "Cinquant'anni dopo l'unificazione nazionale", si legge nell'introduzione ad una recente raccolta di saggi dedicata alla modernizzazione ed alla innovazione in Italia fra Otto e Novecento, "l'aggancio della Penisola con lo sviluppo industriale poteva dirsi avvenuto". Tuttavia, fattore certo non secondario per la crescita economica ed industriale del paese, "i prodotti più evoluti, come i componenti chimici o i macchinari elettrici, continuavano a provenire dall'estero".

Numerosi storici concordano inoltre sul fatto che anche la ricerca italiana non si trovasse in condizioni particolarmente brillanti all'inizio del Novecento, risultando in ritardo soprattutto rispetto ai rivoluzionari cambiamenti sopraggiunti nell'ambito degli studi di fisica teorica, in particolare quelli relativi alla struttura della materia e alla teoria dei quanti. Un ritardo che fu senz'altro di natura concettuale; infatti le ricerche in questo settore furono caratterizzate, scrive Giuseppe Giuliani "da un formalismo matematico piuttosto semplice, dall'abbandono, quando necessario, del metodo ipotetico-deduttivo rigoroso, da una estrema spregiudicatezza nell'uso delle ipotesi che sono sovente in contrasto con la conoscenza acquisita".

Tale contraddizione, quella di una nazione che si stava avviando a diventare uno dei paesi più industrializzati del mondo, ma anche uno dei meno autonomi dal punto di vista innovativo e creativo, ha non pochi legami con la politica della ricerca scientifica che si affermò in numerosi Stati italiani prima dell'Unità e, in particolare, nel Regno di Sardegna. È indubbio, infatti, che la filosofia politica della classe dirigente sabauda abbia prodotto notevoli ripercussioni sia sulla legislazione sia sulla creazione dei diversi apparati amministrativi ed istituzionali del Regno d'Italia e che quindi il caso piemontese risulti "di fondamentale interesse", come ha messo in evidenza Pietro Redondi, "proprio per la funzione di 'classe dirigente' che il cosiddetto partito piemontese ha esercitato nel Risorgimento e nell'Italia postunitaria con le sue istituzioni tecnico-scientifiche e spesso nelle persone di ingegneri e scienziati che in quelle istituzioni si erano formati".

Nei primi decenni dell'Ottocento la ricerca scientifica sabauda godeva di salute, se non proprio ottima, senz'altro buona, ed era rappresentata, anche a livello internazionale, da personaggi come il torinese Luigi Rolando, anatomista e fisiologo, celebre per i suoi studi sul sistema nervoso, e l'astronomo Giovanni Plana, che elaborò una importante teoria dei moti della Luna. E proprio a Torino, durante l'età del Risorgimento, svolse la sua attività uno dei più grandi scienziati italiani, sia per produzione che per fama, ovvero Amedeo Avogadro, noto soprattutto al grande pubblico per la costante universale che porta il suo nome, di cui quest'anno ricorre il 150° anniversario della morte.

Avogadro fu un fisico particolarmente attento agli sviluppi teorici della sua disciplina e di altre scienze ad essa connessa, in primo luogo la chimica. Di formazione illuministica, Avogadro ebbe come punti di riferimento, oltre alla filosofia naturale dello scolio piemontese Giambattista Beccaria, uno dei padri dell'elettrologia moderna, e di Alessandro Volta, la fisica modellistica e strumentale di Pierre-Simon Laplace, e la nuova scienza chimica fondata da Antoine-Laurent Lavoisier. Nel 1811, utilizzando le concezioni atomistiche di John Dalton e la legge sulle combinazioni gassose di Joseph-Louis Gay-Lussac, Avogadro formulò l'ipotesi alla quale deve oggi la sua fama universale, ed una citazione obbligatoria in tutti i manuali di chimica: *volumi uguali di gas, a parità di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di molecole*, anche se non enunciò, come generalmente si tende a credere, la distinzione fra atomi e molecole, almeno nei termini in cui siamo abituati a leggerla sui testi scientifici (il merito spetta comunque ad un altro italiano, il sicilia-

104 * Dipartimento di Filosofia, Università di Bologna, via Zamboni, 38, 40126 Bologna

no Stanislao Cannizzaro). Per lo scienziato torinese, influenzato dalle idee sulla struttura della materia del gesuita di origine dalmata Giuseppe Ruggero Boscovich, le ultime particelle della materia (denominate “molecole elementari”) non costituivano infatti vere e proprie entità fisiche, ma strutture ipotetiche di carattere matematico.

Nel corso della sua lunga carriera, Avogadro propose originali idee sulla struttura dei dielettrici, sul comportamento degli acidi e degli alcali, sulle relazioni tra affinità chimica, elettricità e magnetismo, sui calori specifici dei gas, sulla capillarità. Stimato da scienziati del calibro di Hans Christian Oersted (che scoprì, nel 1820, l'elettromagnetismo) e di Michael Faraday (ben noto per la formulazione del concetto di campo elettromagnetico e per la definizione delle leggi dell'elettrolisi), Avogadro fu anche attento allo sviluppo delle tecniche sperimentali e ai fondamentali cambiamenti che si stavano verificando in ambito tecnologico a partire dalla rivoluzione industriale di fine Settecento. Consulente scientifico in materia di brevetti dell'Accademia delle Scienze di Torino (di cui fu membro dal 1819), analizzò oltre cento richieste di *privilegio* (così veniva definita la concessione del brevetto) sulle questioni più disparate, dalle macchine per migliorare la filatura della seta ai primi torchi meccanici della stamperia Pomba (la futura UTET), dagli apparecchi aerostatici e sottomarini ai battelli a vapore, invenzione quest'ultima che gli stava molto a cuore e la cui introduzione nello stato sabauda caldeggiò a più riprese.

Per Avogadro gli aspetti teorici dell'indagine fisica e la ricerca delle leggi universali della natura dovevano avere garanzie di piena libertà ed autonomia; tuttavia il loro sviluppo garantiva non poche opportunità di crescita anche per la tecnologia. Era necessario, inoltre, che i progressi della ricerca fossero strettamente connessi alla didattica. Avogadro nutriva un particolare interesse per il problema della diffusione del sapere scientifico, in relazione alla preparazione di base degli alunni delle scuole primarie e secondarie, preparazione che giudicava essenziale anche per educare ad una ricezione positiva dell'immagine della scienza e della tecnica. E in questo senso si svolse la sua attività all'Università di Torino come docente di Fisica sublime, insegnamento inserito all'interno del corso di Filosofia positiva, destinato soprattutto a formare gli insegnanti delle scuole superiori. Fra il 1837 ed il 1841 il fisico sabauda pubblicò un manuale universitario, diviso in quattro volumi, e finanziato dal re Carlo Alberto, dal titolo *Fisica de' corpi ponderabili*. La *Fisica* non è strutturata come un manuale tradizionale. Gli elementi del sapere non vengono presentati in maniera assiomatica, attraverso enunciati elementari. La forma è discorsiva, sono presenti ampi cenni storici e, soprattutto, vengono descritte le ricerche in corso e le ipotesi alternative. In questo modo Avogadro intendeva offrire un'immagine della ricerca scientifica aperta e non dogmatica; un'immagine che, del resto, riguardava il suo stesso modo di fare scienza. Le speculazioni di Avogadro sul comportamento della materia, ad esempio, pur essendo fondate sulla fisica di Isaac Newton, erano ben lontane da esserne una semplice e banale riproposizione. Al contrario, esse contenevano molti elementi di originalità, tanto da mettere in discussione lo stesso modello newtoniano di forze agenti a distanza in linea retta, il che indusse Faraday a chiedersi (e a consultarsi su questo punto con il giovane William Thomson, futuro lord Kelvin), quanto le sue idee sulla polarizzazione fossero

analoghe a quelle dello scienziato torinese. Riguardo i fenomeni termici, invece, Avogadro, pur abbracciando la teoria sostanzialistica del calorico di derivazione laplaciana, dedicò spazio, nella *Fisica*, alla presentazione dell'ipotesi del movimento vibratorio delle particelle proposto da André-Marie Ampère, sottolineandone l'equivalente ruolo strumentale. Tuttavia, nonostante l'attività di Avogadro, il tentativo di dare un'impronta moderna allo sviluppo della scienza fisica nel Regno di Sardegna, sia sotto il profilo strettamente legato alla ricerca, sia dal punto di vista della crescita tecnologica e culturale, incontrò numerose difficoltà, ed Avogadro non riuscì mai ad avere a disposizione strutture (in particolare laboratori) e finanziamenti tali da poter competere a livello internazionale. Inoltre, con l'avvento, intorno agli anni '40 del secolo, di una nuova classe dirigente di ispirazione positivista, che ebbe naturalmente uno dei suoi principali esponenti in Cavour, la scienza cominciò a perdere il suo ruolo di strumento di conoscenza della realtà, dotato di un alto valore culturale, diventando progressivamente subordinata alle esigenze dell'economia e dell'industria. E iniziando a sostenere l'esigenza di mettersi velocemente al passo con la produzione delle nazioni europee più avanzate, soprattutto acquistando tecnologia, la politica sabauda non vide con chiarezza l'utilità di realizzare un piano di sviluppo a lunga scadenza, che privilegiasse anche la ricerca fisica e chimica, quella teorica in particolare.

Le discipline a cui vennero riservate le maggiori attenzioni furono l'ingegneria e l'architettura civile. La professione di ingegnere civile aveva in Piemonte una grande tradizione. Essa sia era sviluppata sia per la volontà dei Savoia di dare lustro alla monarchia grazie alla realizzazione di opere monumentali (si pensi alla costruzione della cappella della Sindone, per opera del teatino Guarino Guarini, nominato nel 1666 ingegnere ducale da Carlo Emanuele II, o alle successive realizzazioni del messinese Filippo Juvara, fra cui la Basilica di Superga, palazzo Madama e la palazzina di Stupinigi), sia attraverso la realizzazione di opere pubbliche quali ponti, canali e strade che culminarono con la realizzazione del traforo del Frejus, nata da un'idea di Germano Sommeiller, Sebastiano Grandis e Severino Grattoni, tre ingegneri formati alla scuola di scienza delle costruzioni di Luigi Federico Menabrea, che guiderà tre governi del Regno d'Italia tra il 1867 ed il 1869. Il progetto definitivo del traforo, proposto da Pietro Paleocapa, ministro dei lavori pubblici sotto Cavour, venne approvato nel 1857. Paleocapa, che avrebbe in seguito partecipato alla progettazione del Canale di Suez, aveva alle spalle, non a caso, una formazione da ingegnere idraulico. L'idraulica era infatti stato il settore degli studi ingegneristici maggiormente coltivato nello stato sabauda. Per facilitare il suo sviluppo era stato realizzato, nel 1763 l'Istituto e Stabilimento idraulico della Parella, località vicino a Torino; un luogo ideale (destinato ad assumere rinomanza internazionale) in cui gli ingegneri potevano mettere a punto le loro esperienze relative alle 'acque' considerate, assieme alla legna e al carbone di legna, la principale fonte di energia del regno.

La crescita della scienza ingegneristica, che contribuì senza dubbio a fare del Regno di Sardegna uno stato di livello europeo, fu tuttavia portata avanti secondo un'ottica parziale che, non tenendo conto di una realtà e di problematiche ben più complesse, andò a penalizzare tutta una serie di attività, legate più o meno direttamente anche agli ambiti di

ricerca privilegiati da Avogadro. Negli anni '20 e '30 del XIX secolo si accese in Piemonte un importante dibattito riguardante lo stato di conservazione dei boschi e la bonifica dei terreni. Nel 1819 la Reale Società Agraria bandì un concorso sul tema "se quella parte del Piemonte, la quale tra la Dora Riparia e la Stura, che si stende dal piè delle Alpi sin verso Pianezza e la Venaria Reale", che veniva considerata una delle zone più sterili del regno, "possa, e con quali mezzi, ricevere notabili miglioramenti rispetto all'agricoltura e alle arti". Fra i rimedi proposti dal vincitore del concorso, Gianfrancesco Re, docente di Botanica presso la Scuola Veterinaria di Venaria Reale, particolare rilevanza assumeva indubbiamente quello del "rimboschimento" dei terreni. Il tema assumeva tuttavia una valenza ben più ampia, riconosciuta da gran parte degli scienziati sabaudi, incluso Avogadro. In primo luogo emergevano con chiarezza gli eventuali pericoli legati al diboscamento: "Il terreno vestito d'erbe, d'arbusti e d'alberi resiste alle corrosioni delle abbondanti acque piovane e alle repentine fusioni delle nevi, che fanno danni immensi scorrendo sopra i nudi terreni", scriveva Anton Maria Vassalli-Eandi, professore di fisica sperimentale all'Università fino alla Restaurazione (poi accantonato per la sua collaborazione con i Francesi durante il periodo napoleonico), "nei quali scavano tortuosi solchi, che approfonditi dalle successive acque che in maggiore abbondanza per essi colano in ragione della loro profondità, si fanno burroncelli, quindi rovinosi burroni, coprendo ancora di ghiaia, sassi e macigni le sottoposte fertili valli". Ma la ricostituzione dei boschi come ottimo strumento di bonifica e di arricchimento delle risorse del territorio, con la conseguente e contemporanea limitazione dello sfruttamento delle foreste, poteva anche essere il preludio allo sviluppo di attività industriali più avanzate, spingendo moderni imprenditori a ricorrere ad altri materiali diversi dal legno, come il ferro, per la costruzione di utensili e di meccanismi più moderni, come telai, altoforni e macchine a vapore. Conseguentemente l'uso di queste macchine avrebbe richiesto, attraverso un processo che alla fine si rivelava circolare, la ricerca e l'utilizzazione di nuove forme di energia che non prevedessero lo sfruttamento sistematico dei boschi. Ma sia l'ingegneria mineraria, sia la conoscenza del territorio e la conservazione del patrimonio boschivo, strettamente legate a discipline come la chimica, la geologia e la fisica dei fenomeni termici, che avevano goduto di grande considerazione durante l'antico regime, non furono mai incoraggiate nel Piemonte risorgimentale.

Il tentativo di dare vita, durante gli anni '20, ad una Scuola delle Miniere con sede a Moutiers, in Savoia, che consentisse la formazione di personale altamente qualificato in campo minerario e metallurgico, ebbe vita breve. Ma anche nel migliore dei casi la Scuola avrebbe rappresentato un episodio isolato e di per sé non sufficiente alla diffusione di una cultura alternativa a quella degli ingegneri civili, come sottolineò Carlo Cattaneo, di cui sono ben noti gli interessi chimici e geologici a favore di uno sviluppo dell'economia rurale: "Però se non mancano in quei paesi i mezzi per l'istruzione primaria", scriveva il futuro protagonista delle cinque giornate di Milano del '48, riferendosi ai territori sabaudi, "mancano affatto quelli che possono efficacemente e direttamente promuovere l'agricoltura e le manifatture. In tutto quel regno non v'è altro ancora che la scuola mineraria di Moutiers, e nel resto il procedimento delle arti e dei mestieri è abbandonato alla pratica cieca,

intercetto affatto da ogni influenza scientifica, e quindi condannato a soccombere presto o tardi sotto la concorrenza di nazioni più avvedute, e più ubbidienti all'esigenza dei tempi" E così non restava che registrare, durante la terza riunione degli Scienziati italiani che si tenne a Firenze nel 1841, il lamento di Vincenzo Barelli, capo divisione dell'Azienda Generale dell'interno del Regno di Sardegna: "Come potranno gli ingegneri d'acque e strade e gli architetti costruttori conoscere le qualità buone o cattive delle ghiaie, delle pietre, della calce, del gesso, della pozzolana, del ferro e di ogni altro materiale necessario alla formazione e manutenzione delle strade, alle costruzioni d'ogni specie ed agli opifici, se non hanno studiato la Mineralogia? Converterà ch'essi si affidino alle ragioni e all'empirismo dei capi maestri, degli impresari o di gente inesperta e spesso volte di malafede. Quanto giovamento non ritrarrà l'agricoltura nostra, e son per dire, le scienze tutte e le arti dall'incremento e dalla diffusione degli studi mineralogici?" Le scelte di politica della scienza praticate in Piemonte ebbero dunque ripercussioni sulle ricerche portate avanti in numerosi ambiti disciplinari, non ultimo quello degli studi di fisica cari ad Avogadro. Le riforme scolastiche operate dalla legge Boncompagni (1848) e dalla legge Casati (1859), privilegiarono infatti l'istruzione tecnica e professionale (che comunque, nella considerazione dei legislatori, restava sempre di livello inferiore rispetto all'educazione umanistica, destinata alla formazione della classe dirigente), con particolare riguardo alla formazione degli ingegneri. Per questo motivo Angelo Genocchi, avrebbe potuto affermare, non molto tempo dopo, che "nell'Università di Torino l'insegnamento della matematica era diretto a formare piuttosto ingegneri che matematici". Lo stesso Genocchi era venuto in contatto con questa nuova impostazione degli studi sabaudi quando, nel 1858, il Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione aveva fatto alcune osservazioni relative al suo insegnamento di Algebra e Geometria complementare, e ad alcuni nuovi argomenti introdotti: "Non doversi dimenticare" si legge nel documento del Consiglio, "che lo scopo dell'insegnamento della matematica astratta nella nostra Università è quello di abilitare la massima parte degli allievi alle applicazioni dell'arte dell'ingegnere, ed un tenue numero a quelle della fisica". Non sorprende allora, come avrà modo di mettere in evidenza uno dei grandi (ma rari) fisici teorici italiani della seconda metà dell'Ottocento, Galileo Ferraris, che l'insegnamento di Fisica sublime sia stato penalizzato, allo scopo di favorire lo sviluppo di corsi di impostazione tecnica ed ingegneristica, che richiedevano, tra l'altro, competenze matematiche, fondate sul calcolo infinitesimale e sull'indiscussa validità dei metodi ideati da Joseph-Louis Lagrange, ben più complesse rispetto a quelle necessarie per affrontare gli argomenti trattati da Avogadro.

Al tempo stesso l'istruzione scientifica iniziò ad essere concepita come mezzo di preparazione professionale; era infatti necessario che le scuole primarie e secondarie impartissero i principi elementari ed essenziali delle tecniche, ispirati a modelli generali bloccati e puramente nozionistici, evitando di comunicare agli studenti anche i risultati delle ricerche in corso, le ipotesi, le tradizioni in competizione, perché inutili alla formazione e all'impiego nel mondo del lavoro. Gli obiettivi della Legge Casati, che regolerà il sistema scolastico del futuro Regno d'Italia, non caratterizzarono, ha scritto Barbara Reeves, "una moderna università di ricerca". Sia "l'educazione secondaria classica, finanziata largamente dallo sta-

to”, sia “l’educazione superiore che lo era per intero”, risultavano “orientate principalmente a preparare i giovani alle loro responsabilità sociali ed alle carriere nelle professioni liberali, nell’amministrazione statale e nell’industria”. Per questo motivo “scuole ed università dovevano diffondere le conoscenze tecniche e scientifiche nella società”, ma non importava che l’Italia provvedesse “alla ricerca direttamente”. In primo luogo “era necessario che raggiungesse il resto d’Europa nelle applicazioni della scienza”.

La strategia ebbe indubbiamente successo. L’Italia del primo Novecento, nonostante ovvi limiti e carenze, occupava ormai una posizione di rilievo relativamente a numerose produzioni industriali. Ma questo risultato fu pagato a duro prezzo, emarginando la ricerca fisica dall’impianto delle necessità primarie dello stato e determinando progressivamente una situazione del tutto particolare all’interno dell’Università, dove la fisica matematica fu “insegnata da matematici di formazione che in genere avevano scarso interesse per i problemi fisici” mentre, “laddove c’erano programmi di ricerca fisica, questi tendevano ad essere esclusivamente sperimentali”. Così pochi fisici furono “preparati ad assimilare la nuova fisica teorica che si andava sviluppando in Germania verso la fine del secolo”. Per questo motivo, negli anni decisivi per la costruzione dell’Italia novecentesca, si andò diffondendo l’idea di un’istruzione scientifica sempre più orientata a trasmettere nozioni e tecniche, e sempre meno interessata alla comunicazione di metodi, problemi e questioni fondamentali, con il conseguente ridimensionamento, a livello culturale, non soltanto della parte teorica della fisica, ma dell’immagine globale della scienza, del suo significato e delle sue possibilità conoscitive rispetto ad altri campi del sapere.

- Atomi o numeri ? -

La legge di Gay-Lussac (1808) afferma che quando due gas reagiscono ed il prodotto della reazione è pure gassoso, i volumi dei gas reagenti e quelli dei prodotti di reazione stanno fra loro come numeri interi piccoli. Ad esempio la legge mostra come la combinazione fra due volumi di idrogeno ed uno di ossigeno dia luogo a due volumi di vapore acqueo. Se volumi uguali di gas contengono lo stesso numero di particelle, i rapporti delle masse devono necessariamente essere identici a quelli delle densità. In fisica la densità di un corpo è la massa compresa nell’unità di volume, cioè il rapporto tra la massa ed il volume del corpo (densità = massa / volume). È evidente che a parità di volume il rapporto fra le densità di due gas diversi diventa equivalente al rapporto fra le masse. Secondo l’interpretazione più accreditata Avogadro, conciliando la sua ipotesi con la legge di Gay-Lussac (e accettando la validità dell’atomismo fisico di John Dalton), determinò, per spiegare il raddoppiamento delle particelle di ossigeno nella molecola d’acqua, la biatomicità di tutti i gas allora conosciuti allo stato elementare. Avogadro avrebbe così chiarito in maniera definitiva la distinzione fra atomi e molecole alla base di tutta la chimica moderna. In realtà Avogadro non pensò mai di attribuire un valore ontologico a quelle che lui chiamava non atomi, ma “molecole elementari” (la distinzione linguistica è importante). Le molecole elementari rappresentavano infatti soltanto modelli di carattere matematico utili alla soluzione di ciò che oggi viene definito bilanciamento delle masse. Se i dati sperimentali lo avessero reso necessario una sostanza avrebbero potuto “scomparire anche in quattro, otto, o più molecole elementari”. Avogadro del resto assegnò, all’interno del suo sistema di calcolo, il peso relativo 1 alla molecola di idrogeno, proprio perché non credeva

Bibliografia

- Amedeo Avogadro, *Manoscritti scientifici*, conservati presso la Biblioteca Civica di Torino, 75 voll. (manoscritti nn. 461-536).
- Id., *Opere scelte*, a cura di Icilio Guareschi, Torino, UTET, 1911.
- Id., *Saggi e memorie sulla teoria atomica 1811-1838*, a cura di Marco Ciardi, Firenze, Giunti, 1995.
- C. Cattaneo, *Progetto di un istituto agrario nelle terre incolte dell’Alto Novarese* (1833), in Id., *Saggi di economia rurale* (1939), a cura di L. Einaudi, Torino, Einaudi, 1975.
- L. Cerruti – M. Ciardi, *Amedeo Avogadro*, in *Maestri dell’Ateneo torinese dal Settecento al Novecento*, a cura di Renata Allio, Torino, Centro Studi di Storia dell’Università di Torino, 2004, pp. 23-46.
- M. Ciardi, *L’atomo fantasma. Genesi storica dell’ipotesi di Avogadro*, Firenze, Olschki, 1995.
- Id., *La fine dei privilegi. Scienze fisiche, tecnologia e istituzioni scientifiche sabaude nel Risorgimento*, Firenze, Olschki, 1999.
- G. Giuliani, *Il Nuovo Cimento. Novant’anni di fisica in Italia*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996.
- Innovazione e modernizzazione in Italia fra Otto e Novecento*, a cura di E. Decleva, C. G. Lacaita e A. Ventura, Milano, Franco Angeli, 1996.
- B. Reeves, *Le tradizioni di ricerca fisica in Italia nel tardo diciannovesimo secolo*, in *La scienza accademica nell’Italia post-unitaria*, a cura di V. Ancarani, Milano, Franco Angeli, 1989, pp. 53-95. *Ricerca ed istituzioni scientifiche in Italia*, a cura di R. Simili, Roma-Bari, Laterza, 1998.

Per il programma del convegno ed ulteriori informazioni rivolgersi a: Dott. Chiara Mancinelli, Accademia delle Scienze di Torino, Via Maria Vittoria, 3 - 10123 Torino. Tel 011 5620047 - Fax 011532619; e-mail: iniziative@accademia.csi.it

nella realtà delle “molecole elementari”. Per questo motivo i valori da lui ottenuti, come nel caso dell’acqua, sono spesso dimezzati rispetto a quelli contemporanei. Furono necessari molti anni, nuove teorie e numerosi fatti sperimentali prima che la Legge di Avogadro e la moderna teoria atomica assumessero le caratteristiche oggi a noi ben note descritte in tutti i manuali di fisica e di chimica.

Quest’anno ricorre il 150° anniversario della morte di Amedeo Avogadro (1776-1856).

Per celebrare la ricorrenza, il 20 ed il 21 giugno si terrà un convegno di studi dedicato ad “Avogadro e la cultura scientifica del primo Ottocento” presso l’Accademia delle Scienze di Torino e l’Università del Piemonte Orientale “Amedeo Avogadro” di Vercelli.

In occasione del convegno è prevista anche l’uscita di due volumi: la prima biografia dedicata ad Avogadro (M. CIARDI, *Amedeo Avogadro. Una politica per la scienza*, Roma, Carocci), e l’edizione dei manoscritti giovanili di Avogadro (ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO, *Tre manoscritti inediti di Amedeo Avogadro*, a cura di M. Ciardi, Firenze, Olschki).

ECTN: LA RETE TEMATICA EUROPEA PER LA CHIMICA E LE SUE ATTIVITÀ

ANTONIO LAGANÀ*

Lo sviluppo di una rete tematica per la chimica

A seguito del successo ottenuto nell'organizzare i primi scambi europei di studenti e docenti in Chimica nel 1996 alcuni Professori Universitari sotto la guida del Prof. Antony Smith riuscirono ad ottenere un finanziamento Socrates per varare la rete tematica per la chimica ECTN (European Chemistry Thematic Network [1]). L'obiettivo dichiarato di ECTN era quello di sviluppare una serie di iniziative didattiche e di ricerca che favorisse il convergere dei diversi approcci nazionali in uno spazio europeo della conoscenza chimica.

L'adesione al progetto è stata grande in tutta Europa con la Gran Bretagna in pole position seguita a ruota da Francia, Italia, Germania e Spagna (vedi Fig. 1). Oggi l'ECTN conta 159 membri di 30 paesi europei e un certo numero di partner extraeuropei.

Tutte le principali attività di ECTN si sono sviluppate organizzando gruppi di lavoro. I gruppi di lavoro più noti sono (a destra viene data la città del coordinatore):

• EChemTest	<i>Lyon, FR</i>
• Core Chemistry	<i>Bologna, IT</i>
• Food Chemistry	<i>Aveiro, PT</i>
• Biological Chemistry	<i>Leiden, NL</i>
• Image of Chemistry	<i>Köln, DE</i>
• Industrial placements	<i>Nottingham, UK</i>
• Safety	<i>Cracow, PL</i>
• Tuning Educational Structures and Eurobachelor®	<i>Dortmund, DE</i>
• Multimedia in Chemistry Education	<i>Perugia, IT</i>
• Chemistry and Cultural Heritage	<i>Thessaloniki, GR</i>
• Training new teachers	<i>Keele, UK</i>
• Teaching evaluation by students	<i>Brussels, BE</i>

Di questi, quelli relativi alla Multimedialità e ai Titoli europei verranno discussi in un qualche dettaglio nel prosieguo.

L'Eurobachelor® in Chimica

La partecipazione di ECTN ad alcune attività europee di armonizzazione (come il progetto Tuning[2]) ha portato la rete tematica a compiere uno sforzo crescente nell'analisi delle caratteristiche comuni dell'insegnamento europeo in chimica a livello di triennio universitario. Ciò ha comportato, dapprima, la definizione della cosiddetta chimica di base (o core chemistry) [3] (quei contenuti, cioè, che debbono costituire il bagaglio di conoscenza chimica ne-

cessariamente posseduto da tutti gli studenti universitari europei alla fine del triennio di studi Universitari). Successivamente l'ECTN ha provveduto ad elaborare una definizione dei contenuti e delle modalità di acquisizione del titolo di laurea breve (l'Eurobachelor® [4]) in Chimica su scala europea. L'Eurobachelor® in Chimica fa riferimento alla articolazione europea dei titoli di studio dell'Istruzione superiore in tre livelli di cui il primo (triennale universitario) è appunto il Bachelor, il secondo (altri due anni) è il Master mentre il terzo, il PhD, richiede ulteriori tre o quattro anni da spendere principalmente in ricerca. L'Eurobachelor® in Chimica è articolato anche in 180 crediti formativi ECTS (European Credit Transfer System) di cui 90 per specifici contenuti chimici e i restanti novanta per altri contenuti di discipline integrative obbligatorie o opzionali. Di esso sono indicati non solo il tipo di crediti ECTS da utilizzare ma anche le modalità di erogazione, i relativi contenuti e gli obiettivi assegnati [2] ferma restando l'autonomia della sede in materia di scelta dei corsi con cui attivarli.

Per quanto riguarda i contenuti, infatti, l'autonomia lasciata dall'Eurobachelor® in Chimica ad ogni Università è tale da consentire ad ogni Ateneo di coltivare la propria vocazione specifica. Ne è prova il fatto che ogni Università

mantiene intatta la natura e la proprietà del titolo rilasciato. I soli vincoli posti sono quelli che riguardano le modalità con cui viene garantito uno standard di qualità omogeneo a quello delle migliori Istituzioni Europee. Ciò assicura una piena trasferibilità del titolo ad altri programmi accademici dato che le tematiche insegnate sono quelle della chimica di core (vedi un elenco sintetico nell'appendice A). La natura europea del titolo è certificata da un supplemento allo stesso (Diploma

supplement) redatto in inglese e che esplicita le caratteristiche comuni con le altre Università che rilasciano l'Eurobachelor® in Chimica.

Per quanto riguarda gli obiettivi il principale è stato sin dall'inizio quello di offrire agli studenti un titolo che poteva essere accettato automaticamente dalle altre Università europee (diritto automatico all'accesso anche se non all'ammissione). Al tempo stesso l'Eurobachelor® in Chimica mira ad aprire l'accesso al mercato europeo del lavoro e ai livelli professionali superiori. Esso pertanto prevede dei moduli obbligatori di chimica analitica, chimica fisica, chimica inorganica, chimica organica e chimica biologica, dei moduli semiopzionali (almeno 3) in chimica computazionale, chimica macromolecolare, tecnologie chimiche, biochimica, biofisica, dei moduli integrativi in

*Dipartimento di Chimica, Università di Perugia, I



Fig. 1 Numero di Università membri di ECTN divise per nazione nel 2003

matematica e fisica (obbligatori) e biologia e dei laboratori pratici nelle stesse discipline erogati o come corsi separati o come moduli integrativi. I moduli possono corrispondere a 5 (o relativi multipli come 10, 15, ...) o 3 (o relativi multipli come 6, 9, 12, ...) crediti. Il sistema dei crediti dovrà prevedere attorno a 15 crediti per la tesi, un monte di 150 crediti per la chimica, la fisica, la matematica e la biologia (compresa la tesi) di cui almeno 90 crediti (50%) vanno riservati al nucleo centrale (core) della chimica. In conclusione, quindi, su 180 crediti 90 vanno alla chimica di core, 15 per la tesi, 15 per i moduli semioptionali e 60 sono a discrezione della sede con un numero massimo di corsi di 34.

Gli studi dell'Eurobachelor® in Chimica configurano un carico di lavoro annuale per lo studente di 1500 ore (per uno studente a tempo pieno) equivalenti a 36-40 settimane di lavoro annuali (con un carico medio di 40 ore di lavoro per settimana) di cui circa 25 di insegnamento. Il credito, infatti, equivale in linea generale a 25 ore di lavoro di cui da 6 a 8 ore di lezione (le ore restanti sono dedicate allo studio individuale e i crediti per le ore di laboratorio sono dimezzati rispetto a quelli delle ore di lezione).

Per quanto riguarda i metodi di studio, di insegnamento e di valutazione viene raccomandato l'affiancamento di corsi pratici ai corsi teorici, la presenza di attività di ricerca di cui la tesi è parte importante (o comunque, in alternativa l'effettuazione di uno stage aziendale). Vengono inoltre fortemente incoraggiate l'adozione di tecniche di insegnamento e apprendimento (T&L) multimediali e assistite da computer, l'instaurazione di un sistema di tutoraggio per piccoli gruppi e la formazione di commissioni miste studenti docenti, la effettuazione di prove di esame sia in forma orale che scritta, la valutazione delle relazioni di laboratorio, la adozione di sessioni per lo svolgimento di esercizi per la soluzione di problemi, di seminari e di altre attività come la rassegna di letteratura, il lavoro di gruppo, la preparazione di poster, oltre, ovviamente, al lavoro di preparazione della tesi.

L'etichetta Eurobachelor® in Chimica è stata registrata e

le procedure per l'accREDITAMENTO all'uso di tale etichetta sono state fissate nel 2004. A questo proposito è stata costituita una l'Associazione ECTN (detta ECTNA) come organizzazione di diritto belga senza scopo di lucro. L'ECTNA è composta di oltre 70 Istituti di insegnamento superiore europei e annovera anche tra i propri membri alcune società chimiche nazionali quali l'inglese, la tedesca, l'italiana e la ceca. Il processo di accREDITAMENTO, gestito da un'apposita commissione dell'ECTNA per l'etichetta dell'Eurobachelor® in Chimica, si articola in un certo numero di fasi. La prima consiste nella descrizione dettagliata della organizzazione degli studi e delle procedure T&L adottate. La seconda fase consiste di una visita in loco di un gruppo di esperti nominati dalla commissione per visionare le infrastrutture, verificare l'organizzazione e intervistare i docenti, gli studenti e il personale. La terza fase consiste dell'analisi delle risultanze del lavoro del gruppo di esperti da parte della commissione e la formulazione da parte di questa della relativa raccomandazione al Comitato direttivo della ECTNA. La decisione finale (formale) adottata dall'ECTNA porta alla comunicazione all'Università interessata dell'accREDITAMENTO (o delle misure da adottare per poter essere considerati per l'accREDITAMENTO) valido per un periodo di 5 anni.

EChemTest: la valutazione della conoscenza della chimica

Uno degli sforzi più impegnativi dell'ECTN è stata la definizione delle conoscenze chimiche da impartire ai vari livelli del sistema educativo e della sua valutazione con strumenti elettronici. Il risultato di tale sforzo è EChemTest. EChemTest è composto da un insieme di test elettronici di vari livelli di complessità (per l'Università essi sono basati sulle conoscenze della chimica di core) finalizzati alla valutazione del grado di conoscenza della chimica mediante sessioni telematiche. Le sessioni consistono di 30 domande estratte in modo casuale da un database che contiene più di 3000 test certificati. EChemTest è stato ufficialmente lanciato nel Maggio e una sua sessione

demo è disponibile in molte lingue europee sul web (il relativo portale viene dato in Fig. 2).

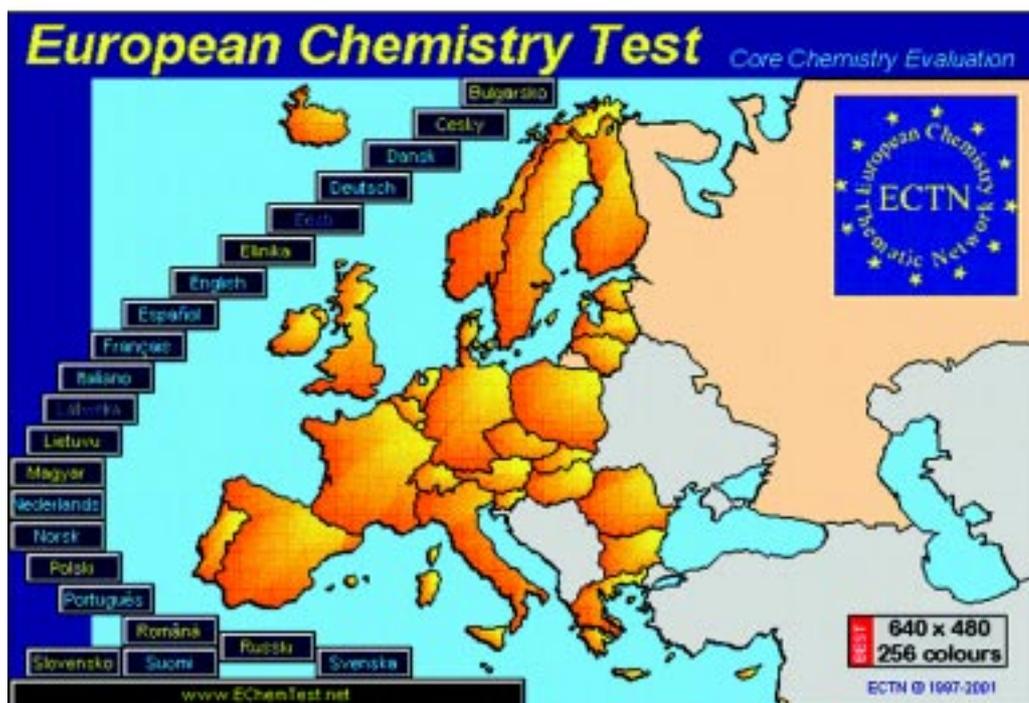


Fig 2 Portale di EchemTest

Il superamento del test della durata di un'ora ed effettuato in ambienti informatici certificati a questo scopo dà diritto ad una certificazione ufficiale del grado di conoscenza della chimica che sta ottenendo importanti riconoscimenti da parte del mondo delle istituzioni pubbliche e delle imprese private europee. La sua accettazione come certificato internazionalmente riconosciuto a fini educazionali, commerciali e industriali è anch'essa in chiaro progresso. La versione base dei test (in inglese) è articolata nei seguenti quattro livelli:

- **1. al termine della scuola d'obbligo**
 - *Chimica Generale 1*
- **2. all'ingresso all'Università**
 - *Chimica Generale 2*
- **3. alla laurea triennale in Chimica**
 - *Chimica Analitica 3*
 - *Chimica Biologica 3 (in progresso)*
 - *Chimica inorganica 3*
 - *Chimica Organica 3*
 - *Chimica Fisica 3*
- **4. a livello specialistico**
 - *Chimica organica 4 (in progresso)*

La preparazione della banca dati dei test ha richiesto un gran lavoro di studio dei contenuti, di aggiustamento dei testi, delle figure e degli algoritmi ed infine di verifica e validazione del materiale prodotto (attività ancora in atto). Questo costituisce il principale compito dei coordinatori dei vari livelli che vengono qui di seguito riportati:

- Chimica Generale 1&2, K. Wahala, Helsinki (Finlandia)
- Chimica Analitica 3, M. Karayannis, Ioannina (Grecia)
- Chimica Inorganica 3, D. Cardin, Reading (Gran Bretagna)
- Chimica Organica 3, T. Hase, Helsinki (Finlandia)
- Chimica Fisica 3, J. Renuncio, Madrid (Spagna)
- Supporto di programmazione, J. Froehlich, Vienna (Austria)
- Testing centers, C. Manuoli, Perugia (Italia)

La banca dati dei test contiene per ogni area delle librerie

articolate in batterie di domande di difficoltà comparabile all'interno della stessa libreria. Il software usato per la creazione, la modifica e la gestione delle librerie è QuestionMark Perception [5] un software che è certificato dalla CAA. Ulteriori sviluppi sono stati pianificati per aumentare i feedback, l'assegnazione dei crediti ECTS, l'addestramento e la valutazione dei docenti, lo sviluppo di algoritmi per il riconoscimento automatico delle formule chimiche.

Attività di e-learning

Le attività del gruppo di lavoro di EChemTest sono fortemente collegate a quelle del gruppo di lavoro "Multimedia in chemistry education" (MUTALC) [6]. Molte delle attività di MUTALC, infatti, riguardano le discussioni sulle metodologie T&L elettroniche e sulla costituzione di un deposito di materiale del T&L elettronico. Le attività più avanzate di MUTALC sono quelle condotte in collaborazione con ELCHEM [7] un gruppo di lavoro dell'Azione COST D23 chiamata METACHEM. Di particolare interesse tra queste attività c'è il progetto del Dipartimento di Chimica dell'Università di Helsinki (K. Wahala) che è parte di un progetto più ambizioso di costruzione di un campus virtuale insieme con altre Università finlandesi [8]. Un'altra attività di punta del gruppo di lavoro MUTALC è quella relativa al progetto iChemEdu del Dipartimento di Chimica Organica dell'Università Tecnologica di Vienna J. Froehlich). iChemEdu è un sistema ipertestuale che collega gli ambienti web iChemLab (esercitazioni di laboratorio di chimica organica assistito da computer), iChemExam (sessioni elettroniche di autovalutazione) e iChemLecture (testi di lezione elettronici) mediante interfacce software bidirezionali che consentono link e input diretti tra le varie componenti e con l'esterno [9,10]. Nella prospettiva di sviluppare strumenti e-learning interoperabili ed ubiquitari sulla Grid europea

[11] il Dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università di Perugia (O. Gervasi) ha realizzato un sistema di gestione dell'apprendimento (Learning Management System o LMS) basato su tecnologie di web semantico chiamato SELE (SEmantic LEarning) [12]. SELE fa uso di tecnologie semantic web per definire e descrivere le varie unità didattiche sviluppate dall'insegnante, per rendere queste unità riusabili e rintracciabili e per seguire lo studente nel suo percorso all'interno dell'unità didattica al fine di progettare strumenti di auto-apprendimento. Come si può vedere in Fig. 3 (in cui la struttura dell'LMS di SELE è schematizzata) SELE è composto da tre sottosistemi principali: la interfaccia utente (SELE User Interface), l'amministratore dei contenuti (SELE Content Management) e il sistema di valutazione on-line (EOL [13]) che mette a disposizione del docente non solo uno strumento per la conduzione dei test finali ma anche una serie di informazioni generate dallo studente nella fase di auto-valutazione.

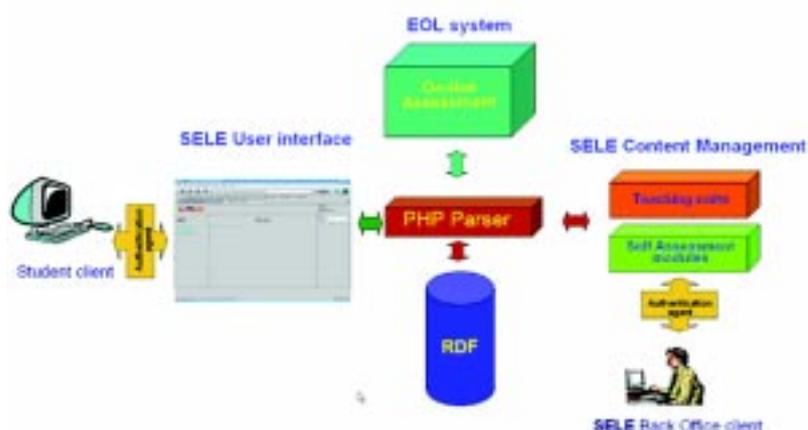


Fig. 3: La struttura di SELE LMS

Nella stessa prospettiva operano sia l'altro progetto del Dipartimento di Chimica dell'Università di Perugia sia il progetto del Dipartimento di Chimica dell'Università di Salonicco. L'altro progetto dell'Università di Perugia, VMSLab [14], consiste nell'adozione di tecnologie di realtà virtuale (VR) nella conduzione delle prove del laboratorio didattico. Ciò consente di aggiungere alla possibilità già vista di gestire le informazioni elettroniche raccolte durante le sessioni del laboratorio didattico per la personalizzazione dei processi di apprendimento e di valutazione, la possibilità di utilizzare strumenti che facilitano la familiarizzazione dello studente con l'esperimento avviandolo in forma virtuale alla manualità necessaria e la rivisitazione ex post dell'esperienza fatta per meglio capirla scegliendone anche il tempo e i modi di conduzione. Il portale di VMSLab consente tutto questo offrendo sia elementi di realtà virtuale a dimensione umana (HVR), quali banconi, cappe, vetreria, apparecchi di misura, sia elementi di realtà virtuale molecolare (MVR), quali strutture e dinamiche molecolari. Un esempio dell'ambiente di realtà virtuale utilizzato per una esperienza di cinetica organica viene dato in Fig. 4.

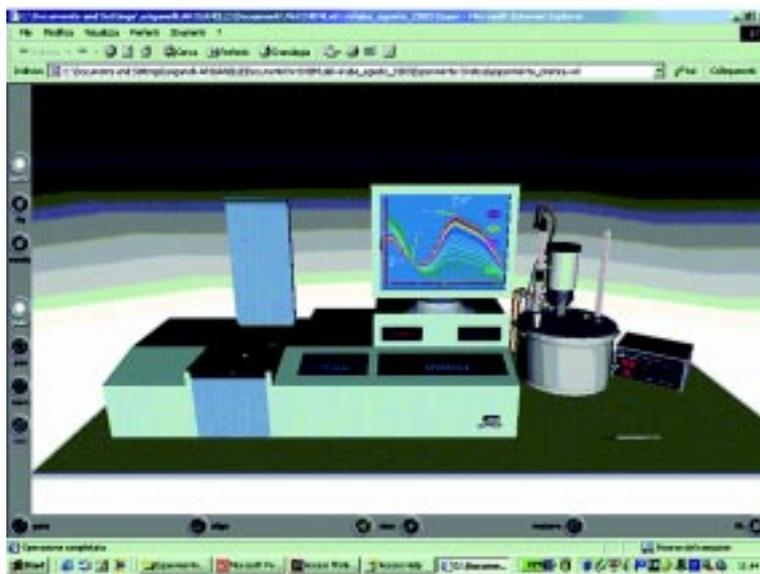


Fig. 4: Apparato sperimentale di una esperienza UV/VIS realizzato in VRML

Ringraziamenti

Si ringraziano O. Gervasi (Perugia), A. Riganelli (Perugia) e P. Mimero (Lione) per i contributi forniti alla stesura dell'articolo.

Riferimenti

- [1] <http://www.ectn.net>
- [2] http://www.ectn-assoc.org/network/wg_prest/tuning_project.htm
- [3] <http://www2.fci.unibo.it/~corechem>
- [4] <http://www.eurobachelor.net>
- [5] <http://www.questionmark.com>
- [6] Mutalc è il gruppo di lavoro di ECTN per gli strumenti di e-learning (<http://www.ectn.net>)
- [7] ELCHEM è il gruppo di lavoro di COST Chemistry per le tecnologie di e-learning su Grid
- [8] <http://www.chemistry.helsinki.fi/Chemicum>
- [9] <http://www.ichemlab.at>
- [10] <http://teachme.tuwien.ac.at>
- [11] Enabling Grids for E-Science in Europe (EGEE) <http://www.eu-egee.org>
- [12] O. Gervasi, A. Riganelli, R. Catanzani, F. Fastellini and A. Laganà, A Learning Management System based on Semantic Web approach, ExpoE-learning, Ferrara (2004)
- [13] O. Gervasi and A. Laganà, EoL: A Web-Based Distance Assessment System, Lecture Notes in Computer Science, 3044, 2004, pp. 854-862
- [14] O. Gervasi, A. Riganelli, L. Pacifici and A. Laganà, VMSTLab-G: A Virtual Laboratory prototype for Molecular Science on the Grid, Future Generation Computer Systems 20(5), 2004, pp.717-726

APPENDICE A

LE COMPETENZE DA SVILUPPARE NELL'EUROBACHELOR IN CHIMICA

LE COMPETENZE CHIMICHE

- Aspetti principali della terminologia chimica, delle convenzioni in materia di nomenclatura e unità
- Principali reazioni chimiche e loro proprietà
- Principi e procedure analitiche e caratterizzazione dei composti chimici
- Le caratteristiche dei differenti stati della materia e le relative teorie
- I principi della meccanica quantistica e le loro applicazioni alla descrizione delle strutture e delle proprietà degli atomi e delle molecole
- I principi della termodinamica e le loro applicazioni alla chimica
- La cinetica delle trasformazioni chimiche (catalisi inclusa) e i meccanismi delle reazioni chimiche
- Le principali tecniche degli studi di struttura spettroscopia inclusa

- Le proprietà caratteristiche degli elementi e dei loro composti con inclusione delle relazioni tra i gruppi e delle tendenze all'interno della Tavola periodica
- Le proprietà dei composti alifatici, aromatici, eterociclici e organometallici
- La natura e il comportamento dei gruppi funzionali nei moduli organici
- Le proprietà strutturali degli elementi chimici e dei loro composti inclusa la stereochimica
- Le maggiori procedure di sintesi di chimica organica che implicano la interconversione tra gruppi funzionali e la formazione di legami carbonio-carbonio e carbonio-eteroatomo
- La relazione tra proprietà collettive e le proprietà individuali di atomi e molecole incluse le macromolecole
- La chimica delle molecole e dei processi biologici

CONOSCENZE E COMPETENZE COLLEGATE CON LA CHIMICA

- Capacità di mostrare conoscenza e comprensione dei fatti, dei concetti, dei principi e delle teorie essenziali per lo sviluppo del programma di studi
- Capacità di applicare le proprie conoscenze e abilità alla soluzione di tipici problemi qualitativi e quantitativi
- Capacità di valutare, interpretare e sintetizzare i dati e le informazioni chimiche
- Capacità di riconoscere e implementare misure e procedure scientifiche
- Capacità sia orali che scritte di produrre argomenti e materiale scientifico ad ascoltatori competenti
- Capacità computazionali e di trattamento dei dati chimici

CAPACITÀ PRATICHE COLLEGATE CON LA CHIMICA

- Capacità di utilizzare sostanze chimiche tenendo in conto le relative proprietà fisiche e chimiche (incluso l'eventuale rischio chimico)
- Capacità di eseguire procedure standard di sintesi e analisi sia organica che inorganica usando la strumentazione relativa
- Capacità di monitorare, mediante osservazione e misura di proprietà chimiche, eventi e cambi registrandoli in modo affidabile e sistematico
- Capacità di interpretare dati derivati da osservazioni e misure di laboratorio e misure in funzione della loro importanza e di metterli in relazione con la teoria appropriata
- Capacità di valutare i rischi associati all'uso di sostanze chimiche e di procedure di laboratorio

CAPACITA' GENERICHE

- Capacità di comunicazione sia orale che scritta in almeno due lingue europee ufficiali
- Capacità di problem-solving mediante correlazione di informazioni sia qualitative che quantitative
- Capacità sia numeriche che di calcolo comprendenti anche aspetti come analisi dell'errore, stima dell'ordine di grandezza e uso corretto delle unità
- Capacità di recupero delle informazioni rispetto a sorgenti di primo e secondo livello utilizzando anche tecnologie informatiche di ricerca on-line
- Capacità di uso di tecnologie informatiche come editori di testo, fogli elettronici, raccolta e memorizzazione dati, ricerche tematiche su Internet
- Capacità di relazionarsi agli altri e di lavorare in gruppo
- Capacità di studio per lo sviluppo professionale continuo





Gentile collega, spesso si parla di riforma della scuola in modo globale senza fare le dovute distinzioni tra contenitore e contenuto, sottovalutando ora l'uno ora l'altro e finendo nella confusione più totale quando si pone l'inevitabile problema di rendere l'uno compatibile con l'altro. Da un lato abbiamo le risorse materiali cioè gli spazi, i finanziamenti e le risorse tecnologiche, i tempi scolastici, dall'altro le risorse immateriali cioè i contenuti disciplinari e le qualità psicologiche degli insegnanti, oltre ai rapporti con le istituzioni, le famiglie e la cittadinanza: le prime rappresentano i "contenitori scolastici", utili anzi utilissimi, meglio se abbondanti e mirati ma non eccessivamente cogenti se non per l'aspetto finanziario e per il loro significato politico; le seconde sono i "contenuti scolastici" senza i quali o in scarsità dei quali l'insegnamento perde di significato, ma per la loro natura immateriale spesso sfuggono alla percezione del cittadino comune.

Le riforme sono operazioni condotte da politici, con la collaborazione di funzionari ministeriali e, marginalmente, di insegnanti, esse agiscono in maniera più significativa sui contenitori infatti l'operare sui contenitori rende l'operazione politicamente visibile. Al contrario i contenuti vengono visitati in modo marginale e formale.

In questo modo si possono immettere nella scuola i germi di alcune gravi storture culturali e sociali.

Viceversa come suggerisce l'esperienza, sarebbe possibile fare grandi passi nell'ammodernamento della scuola anche riformando la didattica delle varie discipline e l'educazione degli allievi pur lasciando quasi invariate le strutture.

Per questa operazione, politicamente poco remunerativa e oggettivamente difficile, sarebbe necessario intervenire sulla professionalità degli insegnanti: questo deve essere fatto agendo in contemporanea sugli insegnanti in servizio e sulla formazione dei nuovi docenti, in caso contrario i nuovi docenti si troverebbero ad operare in un ambiente che li respinge e non riconosce i loro metodi che per di più sono fragili e acerbi.

L'immissione dei docenti provenienti dalle SSIS ad esempio richiederebbe che fossero evitate eccessive disparità di comportamento professionale all'interno di uno stesso consiglio di classe. Per fare ciò, come è stato detto, sarebbe necessario che mentre da un lato si formano i docenti nelle SSIS (o in equivalenti corsi di laurea) dall'altro si intervenga con corsi di riqualificazione sui docenti in servizio.

114 Non si può comunque trascurare oltre un certo limite il quadro di riferimento sul quale si opera cioè il contenitore scolastico.

Il problema è ulteriormente complicato dal fatto che il Ministero per mantenere una certa flessibilità nella gestione dei suoi dipendenti, evita una rigida compartimentazione disciplinare del personale docente e sceglie di organizzare il tutto per grandi aree culturali: questo avviene tanto per l'area umanistica che per l'area scientifica.

Lo stesso criterio, per certi versi funzionale, comincia ad emergere nelle SSIS dove ad esempio i laureati in chimica hanno accesso oltre che alla classe di concorso A013 anche alle classi A060 e A059.

Sul piano psicologico possono determinarsi situazioni disparate che vanno dal chimico che si occuperà con passione di scienze dell'ambiente, al naturalista che scoprirà il fascino della chimica, dal biologo che si dedicherà con passione ad insegnare l'astronomia, al fisico che troverà un modo innovativo di insegnare la mineralogia.

Naturalmente alcuni insegnamenti continuerebbero ad essere assegnati esclusivamente in base al tipo di laurea, tra questi troviamo gli insegnamenti relativi a corsi a carattere professionalizzante.

In queste situazioni l'esperienza insegna che si deve vigilare, evitando che qualche sconsiderato funzionario ministeriale, abusando dei criteri di discrezionalità, non compia degli scempi, come quando furono riconosciute agli architetti le competenze per insegnare impianti chimici in corsi professionali.

A questo punto nasce naturale una domanda: quali sono gli aspetti professionali capaci di conferire una impronta unitaria ad una massa così eterogenea di futuri docenti? Nello stesso tempo dobbiamo anche chiederci: su quali competenze dobbiamo puntare per unificare la professionalità degli attuali docenti attraverso la formazione in servizio?

Questo sforzo di omogeneizzazione è necessario per tutta una serie di ragioni: è indispensabile, oltre che per fare funzionare i consigli di classe come è stato detto, anche per poter compiere valutazioni della qualità dell'insegnamento su scala nazionale, per evitare che si abbiano eccessive differenze di livello tra le varie scuole, per evitare riflussi e appiattimenti verso il basso. Contemporaneamente bisogna evitare che le nicchie disciplinari diventino brodo di coltura di stupidi corporativismi.

Prima di formulare delle ipotesi sulla professionalità dell'insegnante bisogna riflettere sul fatto che un insegnante di chimica è innanzi tutto un insegnante ed in misura minore un chimico; questo vale anche per l'insegnante di fisica o di scienze naturali.

Differenze più accentuate per quanto riguarda le caratteristiche professionali probabilmente si riscontreranno tra insegnanti di area umanistica e insegnanti di scienze sperimentali ed in misura minore tra questi e gli insegnanti di matematica.

Una prima riflessione deve vertere sul fatto che i meccanismi di base dell'apprendimento sono gli stessi per il bambino, per l'adolescente e per l'adulto più o meno esperto e che il filo conduttore di tutti gli insegnamenti è lo sviluppo cognitivo degli allievi, un tronco sul quale si innestano i rami delle varie discipline

In altre parole una parte centrale nella formazione dei docenti della stessa area disciplinare è comune a tutti i livelli scolari e le differenze osservabili sono legate alla progressiva maturazione del sistema nervoso e cerebrale, al graduale fortificarsi della motivazione come dato di *feedback*, all'accumulo dell'esperienza ed all'ampliarsi della rete cognitiva. Le differenze osservate sono attribuibili al diverso peso esercitato dai suddetti fattori con il progredire dell'età scolare.

Sotto il profilo dei contenuti i concetti nodali delle varie discipline andranno rivisitati per individuare la loro fattibilità ai vari livelli e i problemi che essi pongono nella

loro rappresentazione. Questi contenuti andranno visti più come materia d'insegnamento che come argomenti disciplinari.

Sotto il profilo psicologico dovremo individuare le migliori modalità di comunicazione e di rapporti all'interno della classe, le modalità di valutazione e la qualità dei rapporti con le famiglie, senza ignorare l'influenza delle agenzie formative e informative extrascolastiche.

Sotto il profilo didattico andranno esaminate le modalità dell'intervento, le modalità di recupero, l'impostazione della programmazione e soprattutto gli obiettivi dell'insegnamento.

Attraverso questo percorso forse sarebbe possibile fare emergere un "mestiere" che è anche una vocazione, esattamente come è una vocazione il mestiere del genitore.

In questo modo si potrà forse evitare per il futuro certe grottesche contrapposizioni tra docenti della stessa area e soprattutto ovviare alla latente mediocrità.

Gentile collega, come puoi vedere la strada da percorrere è assai lunga e in parte sconosciuta, quindi ti chiedo in partenza di perdonare un certo mio pessimismo. Ti saluto cordialmente

Ermanno Niccoli

**Accademia delle Scienze di Torino
Università degli Studi del Piemonte orientale
"Amedeo Avogadro"**

Avogadro e la cultura scientifica del primo Ottocento 20 - 21 giugno 2006

**Accademia delle Scienze di Torino
Sala dei Mappamondi
Via Accademia delle Scienze 6**

**Università degli Studi del Piemonte orientale "Amedeo Avogadro"
Rettorato**

Martedì 20 giugno

Accademia delle Scienze di Torino - Sala dei Mappamondi

Ore 9.30

Saluto del Presidente dell'Accademia delle Scienze di Torino, Prof. Pietro Rossi, e del Rettore dell'Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro", prof. Paolo Garbarino

presiede **Gaetano Di Modica** (emerito dell'Università di Torino)

Lidia Nuvoli (Torino)
La famiglia Avogadro

Alberto Lupano - Enrico Genta (Università di Torino)
Nobiltà, studi e carriere nel Piemonte sabauda: Filippo e Amedeo Avogadro

Marco Segàla (Università dell'Aquila)
Avogadro, Ampère e la classificazione delle scienze

Luigi Cerruti (Università di Torino)
Avogadro, Berzelius e la chimica nella prima metà dell'Ottocento

discussione

Ore 15.30

presiede **Sigfrido Leschiutta** (Politecnico di Torino)

Franco Giudice (Università di Bergamo)
Avogadro e gli studi di ottica

Francesco Barbieri – Franca Cattelani (Accademia di Scienze, Lettere ed Arti di Modena)
Amedeo Avogadro, Paolo Ruffini e la matematica

Enrico Giannetto (Università di Bergamo)
Avogadro e la capillarità

Luisa Dolza (Politecnico di Torino)
Avogadro, la tecnologia e i brevetti

discussione

Marco Ciardi (Università di Bologna)
Conclusioni e prospettive di ricerca

Mercoledì 21 giugno

Vercelli - Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro" (Rettorato)

Ore 9.30

Presiede **Paolo Garbarino**

Rettore dell'Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro"

Ferdinando Abbri (Università di Siena – sede di Arezzo)
La nascita di una scienza: luoghi e modelli della chimica nel primo Ottocento

Mauro Dardo (Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro")
Il numero di Avogadro e la realtà fisica degli atomi all'inizio del '900

Sigfrido Leschiutta (Politecnico di Torino)
Amedeo Avogadro, anche elettricista

Ore 13

Ricevimento offerto dal Rettore dell'Università del Piemonte orientale

e-mail iniziative@accademia.csi.it

Per informazioni:

Accademia delle Scienze di Torino
Tel 011 5620047 – Fax 011 532619
e-mail info@accademia.csi.it

Coordinamento scientifico
Prof. Marco Ciardi
Università di Bologna



**SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA
DIVISIONE DI DIDATTICA**

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

CHIMICA PER APPASSIONARE E FORMARE

FIRENZE 11-13 SETTEMBRE 2006

Programma

Lunedì	11 settembre	viale Morgagni 40-44 aula 201
9.00-10.00	Conferenza Plenaria – <u>M. Parinello</u>	
10.00-10.20	Coffee break	
10.20-10.40	<u>R.Carpignano, E.Aquilini</u> <i>Presentazione della V Conferenza nazionale</i>	
10.40-11.40	<u>Ferdinando Abbri</u> <i>La scienza come professione: J.J. Berzelius e la chimica nell'Ottocento.</i>	
DID-PL-01		
	Sessione I- La didattica nella scuola primaria e secondaria di primo grado	
11.40-12.10	<u>C.Fiorentini</u> <i>Il rinnovamento dell'insegnamento scientifico nella scuola di base:Un Progetto della regione Toscana.</i>	
DID-O-01		
12.10-12.30	<u>R.Nencini</u> <i>Dagli oggetti ai materiali: percorso didattico rivolto agli alunni della scuola primaria, prima e seconda classe</i>	
DID-O-02		
12.30-13.00	discussione	
13.00-15.00	Pausa pranzo	
15.00-15.20	<u>A.Martinucci,</u> <i>Le soluzioni</i>	
DID-O-03		
15.20-15.40	<u>E.Lo Dico, D. Lanfranco, R. Carpignano, G. Cerrato, T. Pera</u> <i>La documentazione fotografica come mediatore didattico</i>	
DID-O-04		
15.40-16.00	<u>M. P. Botta, F. Penazzi, B. Attinà, E. Barbero, P. Bellomo, F. Nazario, R. Peruzzo, A. Pozzetti, C. Rossi .</u> <i>I Giochi dell' Energia</i>	
DID-O-05		
16.00-16.20	<u>L. Maurizi, T. Pera</u> <i>Il nostro orto...la Chimica continua</i>	
DID-O-06		
16.20-16.40	discussione	
16.40-17.00	Coffee Break	
17.00-17.20	<u>G. Cerrato, R. Carpignano, D. Rollino, D. Lanfranco, T. Pera</u> <i>L'indagini OCSE-Pisa 2003 e le prove Invalsi: indicazioni e valutazioni relative all'apprendimento di base delle Scienze nella Scuola Primaria.</i>	
DID-O-07		
17.20-18.40	ISS -Tavola rotonda rappresentanti AIF,ANISN,DD-SCI	
18.40-19.00	discussione	

Martedì	12 Settembre	viale Morgagni 40-44 aula 201
9.00-10.00	<i>Conferenza Plenaria – <u>L. J. Kricka</u></i>	
10.00-10.20	Coffee break	
	Sessione II - La didattica nella scuola secondaria di secondo grado	
10.20 -11.00	<u>Rappresentante MIUR</u>	
DID-PL-O2	<i>La scuola secondaria di secondo grado tra Istruzione e formazione professionale.</i>	
11.00-10.40	<u>G. Del Re</u>	
DID-IL-01	<i>Quale Teoria per la Chimica?</i>	
10.40-12.10	<u>P.G. Albertazzi, A. Regis, E. Roletto</u>	
DID-O-08	<i>I modelli dalla storia alla classe: la struttura particellare della materia.</i>	
12.10-12.30	<u>G. Farusi</u>	
DID-O-09	<i>Lo studio di un dipinto come pretesto di approccio interdisciplinare.</i>	
12.30-13.00	discussione	
13.00-14.30	Pausa pranzo	
14.30-15.40	Poster Divisione Didattica Chimica	
DID-P-01	<u>D. Romanazzo, V. Biagiotti, G. Fares, M. Paci</u> <i>Una nuova impostazione tematica nell'attività di divulgazione della Chimica.</i>	
DID-P-02	<u>G. Ieluzzi, F. Turco</u> <i>L'iconografia nell'Enciclopedia di Chimica di Selmi..</i>	
DID-P-03	<u>P. Ambrogi</u> <i>Uso della modellizzazione molecolare nella trattazione della teoria VSEPR nel biennio della Scuola Secondaria superiore.</i>	
DID-P-04	<u>R. Zanoli</u> <i>Il modello R.A.Re.Co.: strumento privilegiato nella didattica del laboratorio di chimica e fisica.</i>	
DID-P-05	<u>C. Duranti</u> <i>Formazione iniziale e formazione in servizio degli insegnanti di Scienze di scuola media secondaria: una riflessione sulle esperienze della sede di Pisa della SSIS Toscana.</i>	
DID-P-06	<u>O. Millerba</u> <i>Didattica applicata nell'insegnamento delle scienze nel primo anno della scuola secondaria di primo grado.</i>	
DID -P-07	<u>S. Zappoli, A. Andracchio, R. Andreoli, B. Ballarin, P. Veronesi</u> <i>Nuove metodologie didattiche per nuovi ordinamenti universitari?</i>	
DID-P-08	<u>G. Bentivenga, M. D' Auria, L. Emanuele</u> <i>Trattamento ossidativo (reagente di Fenton e ozono) di acque di vegetazione.</i>	
DID-P-09	<u>P. Ambrogi, U. Segre, R. Zanoli</u> <i>Progetto Lauree scientifiche: un approccio sinergico.</i>	
15.40-16.00	<u>S. Ripoli</u>	
DID-O-10	<i>Un modello operativo per introdurre la tridimensionalità delle molecole.</i>	
16.00-16.20	<u>P. Giannoccaro</u>	
DID-O-11	<i>Il metodo di Cannizzaro per la determinazione delle masse atomiche relative illustrato con modelli macroscopici.</i>	
16.20- 16.40	<u>T. Pera, R. Carpignano, G. Cerrato, D. Lanfranco</u>	
DID-O-12	<i>La Chimica, scienza dell'educazione.</i>	
16.40-17.00	Coffee break	
17.00-17.20	<u>D. Melucci, M. Gandolfi, M. Alessandri, S. Torroni</u>	
DID-O-13	<i>Progetto Lauree scientifiche: esperienze di Chimica Analitica Forense per studenti delle Scuole Superiori.</i>	
17.20-17.40	<u>A. Testoni, M.C. Pietrogrande, C. Gallini</u>	
DID- O- 14	<i>Il progetto lauree scientifiche a Ferrara.</i>	
17.40-18.00	discussione	
18.00-19.00	Assemblea della Divisione	

Sessione III – L'Università e la formazione dei docenti

- 10.20-10.50 Luca Curti
 DID-PL-03 *Prospettive sulla formazione universitaria degli insegnanti.*
- 10.50-11.20 G. Costa
 DID-O-15 *I lineamenti di una crisi*
- 11.20-11.40 F. Olmi
 DID-O-16 *Per una formazione integrata dei futuri insegnanti*
- 11.40-12.00 A. Borsese
 DID-O-17 *Teoria e pratica della formazione degli insegnanti*
- 12.00-12.20 C. Lami, E. Aquilini, C. Fiorentini, C. Colombi, A. Testoni
 DID-O-18 *Lavoisier: dal flogisto alla conservazione della materia. Un percorso didattico svolto nell'ambito del tirocinio per l'abilitazione nella A060 nella SSIS Toscana, sede di Pisa*
- 12.20-12.40 U. Segre
 DID-O-19 *Il primo anno di attività del Progetto Lauree Scientifiche*
- 12.40-13.00 discussione
- 13.00-14.30 Pausa pranzo
- 14.30-15.20 **Poster Divisione Didattica Chimica** (*Vedi sessione precedente*)
- 15.20-16.20 Conferenza Plenaria – G. A. Olah
- 16.20-16.40 Coffee Break
- 16.40-17.00 M. Franceschin
 DID-O-20 *Il rapporto tra scuola e università nelle attività dell'ADI: la normativa relativa al personale della scuola impegnato nella ricerca e la valorizzazione del Dottorato di Ricerca in ambito scolastico.*
- 17.00-17.20 J. Claro-Gomes, M. Fontani, M. Costa, E. Mariani, R Puccianti
 DID-O-21 *Georges Urbain questo sconosciuto: chimico negletto e versatile compositore.*
- 17.20-18.00 **Medaglia Illuminati e premiazione “Science on Stage”**
- 18.00-18.30 **Premiazione del concorso per le scuole.**

Comitato organizzatore

Eleonora Aquilini
 Pasquale Fetto
 Marco Fontani
 Fabio Olmi
 Pierluigi Riani
 Silvia Ripoli
 Giovanni Villani

Comitato Scientifico

Rosarina Carpignano (Presidente DD-SCI)
 Eleonora Aquilini (Vice Presidente)
 Giacomo Costa (Past-President)
 Daniela Lanfranco (Segretaria-Tesoriere)
 Mariano Calatozzolo (Consigliere)
 Fausta Carasso Mozzi (Consigliere)
 Livia Mascitelli (Consigliere)
 Maria Vittoria Massidda (Consigliere)
 Tiziano Pera (Consigliere)
 Giovanni Villani (Consigliere)

ERRATA CORRIGE

Per un errore tecnico di impaginazione, l'articolo "Proteomica funzionale" di Maria Monti, Stefania Orrù, Daniela Pagnozzi, Piero Pucci, comparso sul n. 5/2005, è stato inserito nella rubrica "SCI - Gruppo giovani" invece che nella sezione "Divulgazione e aggiornamento". Ce ne scusiamo vivamente con gli autori.