ISSN 0392-5912 Anno XXII, n. 3, 2000

Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

CnS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

ITI "Fulladór" - Agordo (BL)

PRIMA ATTUAZIONE DELLE SCUOLE DI SPECIALIZZAZIONE

LA CHIMICA CON I COMPUTER

L'OZONO NELL'ATMOSFERA

MAPPE CONCETTUALI IN CHIMICA ORGANICA

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

LA CHIMICA
NELLA SCUOLA

Società Chimica Italiana

Anno XXII
Maggio - Giugno 2000

Direttore responsabile
Paolo Mirone
Dipartimento di Chimica
Via Campi, 183 - 41100 Modena
E-Mail: mirone@unimo.it

Redattore
Pasquale Fetto
Dipartimento di Chimica "G.Ciamician"
Via Selmi, 2 - 40126 Bologna
Tel. 0512099521 - fax 0512099456
E-Mail: fpcns@ciam.unibo.it

Comitato di redazione
Loris Borghi, Liberato Cardellini, Pasquale Fetto, Ermanno Niccoli, Raffaele Pentimalli, Pierluigi Riani, Paolo Edgardo Todesco

Comitato Scientifico
Alberto Bargellini, Luca Benedetti, Aldo Borsese, Carlo Busetto, Rinaldo Cervellati, Luigi Cerruti (*Presidente della Divisione di Didattica*), Franco Frabboni, Manlio Guardo, Gianni Michelon, Ezio Roletto, Eugenio Torracca

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali
Italia L.90.000 ec 50 - Estero L. 110.000 € 62
Fascicoli separati Italia L. 20.000 € 12
Fascicoli separati Estero L. 25.000 € 15

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

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore
SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

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

SOMMARIO

EDITORIALE

Prima attuazione della Scuola di Specializzazione per l'insegnamento nella Scuola Secondaria (SSIS) **73**
di *Paolo Edgardo Todesco*

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

I rapporti fra la Didattica della Chimica, le altre Didattiche Disciplinari e la Didattica Generale **75**
di *Rinaldo Cervellati*

La Chimica con i computer **83**
di *Giuliano Alagona, Caterina Ghio*

L'ozono: protettore o inquinante? **88**
di *David Phillips*

ESPERIENZE E RICERCHE

Costruzioni di mappe concettuali in chimica organica per stimolare il controllo dei processi di apprendimento **91**
di *Amedeo Mei*

Struttura particellare della materia - Risultati di una indagine condotta su alcuni gruppi d'insegnanti e futuri insegnanti **97**
di *Roberto Andreoli, Liliana Contaldi*

PROBLEM SOLVING FORUM

Gli studenti risolvono i problemi **101**

RUBRICHE

UNO SGUARDO DALLA CATTEDRA
Alziamoci in piedi **107**

CHIMICA E POESIE **87**

DALLA REDAZIONE **106**
Ringraziamenti

CONVEGNI
Consiglio della Divisione di Didattica Chimica della FECS **108**

ERRETA CORRIGE **97**

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

Sito Internet S.C.I. http://www.sci.uniba.it

di **Paolo Edgardo Todeso**

PRIMA ATTUAZIONE DELLA SCUOLA DI SPECIALIZZAZIONE PER L'INSEGNAMENTO NELLA SCUOLA SECONDARIA (SSIS)

Nel pomeriggio del 9 Marzo 2000 ho avuto la fortuna e la felicità di tenere la mia prima lezione in didattica della Chimica nella appena nata Scuola di Specializzazione abilitante per l'Insegnamento Secondario (SSIS).

Accanto alla fortuna ed alla felicità confesso che avevo anche una notevole tensione collegata all'idea di riuscire a realizzare al meglio la scuola così come l'avevamo pensata in molti attraverso un lungo lavoro di anni.

Ho detto fortuna perché la nascita della scuola in questo anno 2000 é stata fino all'ultimo momento un evento di elevata improbabilità. Parlo di felicità perché per ottenere questo evento molti di noi sono stati coinvolti ed hanno intensamente lavorato fino dagli anni ottanta sotto la spinta incessante ed entusiasta del prof. Mario Gattullo che fino da allora aveva intuito la necessità di arrivare ad una formazione dei nuovi docenti ad opera di sforzi congiunti di esperti in Scienza della Formazione e di esperti nelle Didattiche disciplinari.

Il fatto di varare finalmente la Scuola mi sembra la maniera migliore di onorare il nostro amico Mario, troppo precocemente scomparso, purtroppo.

La elevata improbabilità é stata provocata da una apparentemente corretta impostazione delle scuole di specializzazione come entità da coordinare sul piano regionale, come previsto dal legislatore.

Mentre in molte regioni le Università sono ridotte di numero e quindi il coordinamento o non é stato necessario o non ha provocato problemi, in qualche caso regionale che creava difficoltà alcune Università hanno proceduto ognuna autonomamente, senza preoccuparsi di ciò che facevano le altre università regionali. In Emilia Romagna, una regione di persone tutto sommato disponibili ad attuare le regole in modo corretto, si sono verificate alcune impasse. Le quattro Università della Regione presentano una grossa sede, Bologna che, a torto o a ragione, viene sentita come invadente e impositiva dalle Sedi minori che sono anche esse, senza dubbio di elevata qualità e che operano su numeri assai più ridotti di docenti e studenti. Bologna ha sempre funzionato da calamita per gli studenti, come centro culturale e di vita sociale molto appetibile. La gestione di un organismo regionale in queste condizioni diventa difficile. Una qualunque gestione di tipo democratico-proporzionale a livello regionale può vedere una coalizione tre contro uno di scarsa operatività pratica.

Per questo anche se a livello operativo fra i docenti delle quattro sedi che da anni si interessano di didattica la collaborazione é sempre stata attiva ed operante e si sono proposte soluzioni accettabili, a livello organizzativo é stato molto difficile e lungo ottenere disposizioni operative dal comitato regionale. Ci siamo comunque riusciti e la scuola per l'a.a. 1999-2000 é potuta partire nel Marzo 2000 con soli "cinque" mesi di ritardo.

La conseguenza immediata é stata, almeno nella sede di Bologna, che i due semestri previsti nel primo anno sono stati ridotti ad un unico periodo, il cosiddetto "semestrone" con inizio in marzo e durata prevista fino alla fine di luglio.

Gli studenti, che in genere sono già operanti come supplenti nella scuola, si sono così trovati di fronte ad orari di lezione gravosissimi, tutti i pomeriggi tranne il sabato, con cinque ore effettive di lavoro. Prevedo anche che la frequenza nei mesi di giugno-luglio diventerà alquanto precaria in relazione alla effettuazione contemporanea nella scuola secondaria di scrutini finali ed esami.

Ad aumentare le difficoltà c'é anche il fatto che non si é avuta fino ad ora la nomina dei professori di scuola superiore che dovranno essere impegnati nel tirocinio, sacrificando quindi per il momento la parte di pratica professionale che riteniamo molto im-

portante e che pensiamo verrà attuata nel secondo anno.
Il reperimento delle aule é stato anche laborioso e siamo in attesa di adeguati locali per il regolare svolgimento futuro della Scuola.
Gli studenti hanno anche dovuto versare una onerosa tassa di iscrizione alla Scuola e si aspettano di conseguenza un insegnamento produttivo ed efficiente.
Nella Classe 60A da noi gestita si sono iscritti oltre una cinquantina di studenti, in genere docenti precari della Scuola secondaria.
Ad aumentare le difficoltà sono anche pervenute notizie di corridoio derivanti da alcuni ambienti del Ministero della Pubblica Istruzione che ostacolano la attuazione della Scuola di Specializzazione come unico accesso alla Docenza per i futuri Insegnanti, tendendo a mantenere in vita il sistema parallelo dei concorsi e delle graduatorie da sanare ogni tanto con periodiche "amnistie", sistema parallelo che comunque tende ad escludere ogni tipo di "favore" per coloro che si iscrivono alle SSIS.
D'altra parte che per l'insegnamento delle materie scientifiche nella Scuola secondaria spiri una brutta aria é anche confermato da alcune recenti affermazioni fatte dall'attuale Ministro che avrebbe dichiarato al "Giornale" quanto segue:
"Queste sono le tre materie [Matematica, Italiano e materie linguistiche e "Tecnologie"] da affrontare, il resto può essere spazzato via, nel senso giusto del termine. Va spazzata via l'ora di Chimica che non insegnerà mai, come sappiamo, niente della Chimica, o tutta la tassonomia botanica e i celenterati, che cosa sono mai queste cose? che cosa rimane dopo il liceo?"
Il fatto é che noi abbiamo messo in piedi la SSIS proprio per ottenere un nuovo modo di insegnare Chimica nelle scuole che, lo sappiamo già, può permettere di ottenere degli studenti che la Chimica la amano invece che non saperla.
Valgano come esempio gli ottimi risultati alle Olimpiadi della Chimica già ottenuti da Docenti della Scuola superiore che la Chimica la sanno insegnare. Nelle altre discipline scientifiche non si sono mai avuti risultati altrettanto brillanti.
Gli inconvenienti maggiori, già evidenziati dai corsi attualmente svolti finora, sono legati al fatto che la classe 60A con la sua assurda pretesa di "tuttologia" provoca problemi di gravi lacune a livello del singolo studente. Ad esempio gli studenti laureati in geologia non hanno seguito nel loro corso di laurea alcun corso di tipo biologico e pertanto sono richieste le istituzioni di corsi ad hoc sulle singole discipline, in aggiunta ai previsti corsi di Didattica delle discipline che sono ben altra cosa.
I problemi sono anche dovuti al fatto che il "*semestrone*" non coincide con i corsi annuali regolarmente esistenti e non si possono così mutuare direttamente dei corsi disciplinari già esistenti.
Per la Chimica apparentemente il problema non si dovrebbe porre dato che negli attuali ordinamenti tutte le lauree scientifiche prevedono insegnamenti di Chimica. Nella pratica però ho direttamente riscontrato la fatica con cui alcuni studenti laureati in scienze naturali si trovavano ad affrontare la didattica di specifici temi chimici non trattati o trattati male nei corsi già frequentati nelle rispettive lauree.
Non va poi dimenticato che nella nuova riforma delle lauree 3+2 conseguenti alla Dichiarazione di Bologna dei Ministri Europei della Istruzione Universitaria la Chimica é stata eliminata come materia di base praticamente in tutte le lauree in altre discipline. Questo potrà peggiorare la già non buona situazione attuale
Nonostante queste notevoli difficoltà sono rimasto del tutto entusiasta del comportamento degli studenti che si sono dimostrati estremamente attenti ed attivi nel cercare di assimilare un modo effettivo di insegnare la Chimica che faccia anche giustizia della stravagante opinione del Ministro.
Di questo comportamento sono molto grato agli studenti stessi, che si meritano ampiamente ogni nostro impegno, e qui li ringrazio pubblicamente.
Per me é stato molto eccitante e gradevole insegnare a studenti già laureati e già in possesso di una certa professionalità.
Per questa stessa ragione credo che i nostri sforzi passati e presenti siano stati e siano del tutto utili, indispensabili, e ho affrontato l'argomento della SSIS in questo editoriale, presentando le nostre difficoltà locali non per fare piccoli pettegolezzi o meschine vanterie ma come segnale del fatto che vale la pena impegnarsi a superare le difficoltà presenti e future, la SSIS si merita ampiamente il nostro impegno. Questo richiederà a tutti noi anche un notevole e costante sforzo per il futuro, che faccia sì che le nubi, attualmente esistenti, si dissolvano e che si arrivi rapidamente ad un regime il più produttivo ed efficiente possibile.

I RAPPORTI FRA LA DIDATTICA DELLA CHIMICA, LE ALTRE DIDATTICHE DISCIPLINARI E LA DIDATTICA GENERALE

RINALDO CERVELLATI (*)

Riassunto

In questo articolo sono illustrati e discussi i rapporti fra la didattica della chimica, le altre didattiche disciplinari e la didattica generale. Vengono presentati, attraverso esempi concreti, gli aspetti e i problemi peculiari dell'insegnamento/apprendimento della chimica a livello secondario superiore e universitario. Viene sottolineata la necessità, per gli insegnanti delle diverse discipline, di possedere conoscenze di base sui modelli di sviluppo cognitivo degli allievi, mentre i ricercatori in didattica generale necessitano di conoscere problematiche specifiche nel trasferimento di concetti fondamentali di una o più discipline. Sono anche esaminate le ragioni della scarsa ricaduta, nella pratica didattica, dei risultati delle ricerche in didattica della chimica e, più in generale, nelle didattiche disciplinari. Per ridurre il divario fra i risultati di queste ricerche e il loro impatto nell'insegnamento viene suggerita una più stretta collaborazione fra insegnanti e ricercatori nelle didattiche disciplinari e in didattica generale.

Abstract

The relationships between the didactics of chemistry and other subject matters and the general didactics are illustrated and discussed. The peculiar features and problems of the teaching/learning process in chemistry at secondary and tertiary levels are presented with practical examples. The need of knowledge of models of intellectual development by teachers of the various subject matters is underlined together with the need of knowledge of specific problems by researchers in general didactics. The reasons of the rather low impact of chemical, and more in general specific education research on the practice of education are also examined. Closer practical partnership between researchers in specific and general didactics and teachers is suggested in order to reduce the gap between education research findings and classroom practice.

(*)Dipartimento di Chimica 'G. Ciamician', Università di Bologna, Via Selmi, 2, 40126 Bologna

Introduzione

L'istituzione, in quasi tutte le Regioni italiane, della Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario, ripropone in modo pressante la questione dei rapporti fra la Didattica Generale e la, o meglio le, Didattiche Disciplinari. Non v'è alcun dubbio che, nell'ambito dei pedagogisti italiani, un nutrito gruppo di ricercatori in didattica (di cui il prof. Franco Frabboni, Direttore del Centro Interdipartimentale per la Ricerca Educativa, C.I.R.E., dell'Università di Bologna, è stato uno dei principali esponenti) sia riuscito da tempo a far riconoscere che la Didattica Generale è una Scienza autonoma, con un proprio statuto epistemologico e una sua metodologia empirica, che la contraddistinguono dalla Pedagogia, mentre in passato la "didattica" era stata sempre considerata come una "parte" della Pedagogia. A questo proposito, oltre al volume *Manuale di Didattica Generale* [1], sono stati pubblicati due articoli in successione nei due primi numeri della rivista *La Didattica* [2,3]. Tuttavia, nonostante i numerosi richiami dei didatti "generali" affinché quelli "disciplinari" seguissero una strada analoga (non simile) nei confronti delle loro discipline e a fronte di numerosi interventi a questo proposito (v. ad es. l'ottima puntualizzazione di Bruno D'Amore nel n. 2, 1994 di *La Didattica* [4]), non solo vi sono ragionevoli resistenze a considerare praticabile questa strada (almeno nel nostro Paese), ma vi sono, inutile negarlo, pensieri divergenti sui ruoli e sui rapporti fra Didattica Generale e Didattiche Disciplinari [4,5].

Queste divergenze riguardano soprattutto i rapporti, epistemologici e metodologici, fra Didattica Generale e Didattiche Disciplinari. N. Grimellini Tomasini [5] non esclude tuttavia che *"la causa del disagio sia da attribuirsi, ancor più all'origine, ad una diversa visione del legame fra Disciplina (ad esempio Chimica, Fisica, Matematica, Storia, Italiano, Filosofia... ecc.) e Didattica della Disciplina"*.

Il Seminario di Studi 'La Didattica e le Didattiche', svoltosi a Bari nell'ambito del Corso di Perfezionamento "Didattica Generale" nel gennaio 1998, ha riaperto il dibattito (in realtà mai chiuso) su questi argomenti e il successo ottenuto da quell'iniziativa ha convinto, a ragione, gli organizzatori del Seminario che il confronto-incontro fra le diverse posizioni, emerso in quell'occasione, possa non solo chiarire i vari punti di vista ma anche fare il punto attuale della situazione rispetto a quella precedente [4,5].

Lo scopo di questo articolo è quindi

presentare il mio punto di vista sulla Didattica e sulla ricerca in Didattica della Chimica e sui rapporti fra queste e la Didattica Generale e relativa ricerca.

Collocazione delle didattiche disciplinari in ambito universitario

Dobbiamo anzitutto prendere atto che in Italia le Didattiche Disciplinari (quando compaiono nei gruppi di discipline universitari) fanno parte della rispettiva Disciplina e non sono comprese nei gruppi di materie pedagogiche. Sicché, ad es., Didattica della Fisica fa parte di un raggruppamento disciplinare di Fisica, Didattica della Matematica fa parte di un raggruppamento disciplinare di Matematica e così via (per inciso, Didattica della Chimica, è stata cancellata dai raggruppamenti disciplinari di Chimica e quindi, come scherza spesso con me l'amico Bruno D'Amore: "Ma la Didattica della Chimica, esiste?"). In altri Paesi, soprattutto in Inghilterra, ma da tempo anche in Spagna, le Didattiche Disciplinari rientrano nei raggruppamenti di Scienze dell'Educazione. Vi sono pareri contrastanti circa i due modi di inserire queste "didattiche disciplinari" da una parte piuttosto che dall'altra. Ritengo che entrambi presentino, come tutto, vantaggi e svantaggi. Il principale vantaggio di inserire le Didattiche Disciplinari fra le Scienze dell'Educazione è ovviamente quello di uno stretto contatto fra didatti "disciplinari" e "generali"; il principale svantaggio è quello per cui si potrebbe instaurare la tendenza all'isolamento del didatta "disciplinare" dai progressi della sua disciplina. Non entro ulteriormente nel merito di questa questione, voglio invece ribadire il mio punto di vista sulla scientificità e "autonomia" delle Didattiche Disciplinari dalle Discipline corrispondenti.

Scientificità e autonomia della Didattica della Chimica

Ho più volte affermato, e ne sono profondamente ancora convinto, che il quadro di riferimento "teorico" (lo "statuto epistemologico") della Didattica della Chimica (e parlo qui di questa Didattica, perchè è il mio campo ma i colleghi di altre "didattiche" potrebbero non essere d'accordo) è costituito dai fondamenti che stanno alla base della scienza chimica e dal loro sviluppo storico, che si è andato precisando nel corso di quasi tre secoli. Ho più volte riportato due schemi, adattati da un libro di L. Paoloni [6], che riportano e illustrano i fondamenti della chimica nella fase precedente la teoria della struttura atomica e dopo l'acquisizione di una teoria sulla struttura atomica e non intendo qui riproporli. Gli interessati possono fare riferimento direttamente al libro di Paoloni (purtroppo ormai praticamente introvabile), oppure ad alcuni miei scritti [7,8].

Il quadro di riferimento "empirico" della didattica della chimica (la "metodologia empirica") è sostanzialmente costituito dagli approcci attraverso cui porgere significato e contenuti della chimica agli studenti (a tutti i livelli di scolarizzazione), e, più in generale, al "pubblico" (in senso lato).

Queste considerazioni dovrebbero chiudere la questione se la Didattica della Chimica (a prescindere da dove si voglia collocarla) sia o meno una disciplina scientifica e "autonoma": evidentemente, possedendo uno statuto epistemologico e una metodologia empirica, lo è, come lo sono l'Elettrochimica, la Cinetica chimica, la Radiochimica, ecc.

E' tuttavia ovvio che, così come la Didattica Generale deve mantenere rapporti con la Pedagogia, anche la Didattica della Chimica deve mantenerli con le Scienze Chimiche, altrimenti il suo statuto epistemologico si cristallizzerebbe presto. Ci deve essere, insomma, fra Disciplina e Didattica della Disciplina un rapporto, come si usava dire, "dialettico".

Poichè lessi, con molto interesse, l'intervento già citato di N. Grimellini Tomasini [5], ne voglio ricordare il titolo: *"Contro ogni riduzionismo"*, infatti l'atteggiamento di molti fisici fu (ed è tuttora) quello di considerare la scienza chimica come parte della fisica. Ciò è dovuto a un'infelice frase del grande fisico P.A.M. Dirac (Premio Nobel per la Fisica, 1933) che ebbe ad affermare, dopo i successi della nuova meccanica quantistica, che tutta la chimica era contenuta nell'equazione fondamentale della quantomeccanica. Questo punto di vista, chiaramente riduzionista, è stato ribadito anche da Tullio Regge nel *"Dialogo fra Primo Levi e Tullio Regge"* [9]; da quel grande "signore" che era, Primo Levi sorvolò su una tale affermazione. Questa digressione può apparire inutile, superflua e anche corporativa, ma non lo è. Se infatti alcuni fondamenti della scienza chimica si sono modificati in seguito all'acquisizione di una teoria della struttura atomica, il fondamento che ne sta alla base è rimasto invariato:

"Le sostanze pure esistono sotto forma di corpi semplici o elementari, oppure sono composte di elementi. Ci sono criteri operativi per definire la purezza di una sostanza, e un processo operativo per la definizione di elemento"

Questo fondamento è un nodo concettuale della scienza chimica e, come vedremo, risulta anche un "ostacolo" al suo successivo apprendimento. In effetti il concetto di sostanza "singola" (e del suo grado di purezza) non ha riscontri con esperienze visive e tattili, al contrario di concetti o nozioni di base di altre scienze che sono strettamente legati ad esperienze sensoriali sperimentate fin dall'età pre-scolare. Per esempio, apprendiamo fin dai primi anni di vita a discriminare le forme, a ordinare gli oggetti, a "contare". Il passaggio all'astratto, ad es. alla circonferenza o al numero, ha quindi il sussidio di ripetute esperienze visive e tattili. Un secondo esempio è offerto dall'estensione degli oggetti, dal susseguirsi di eventi, dal movimento osservato o eseguito, che sono il fondamento *percettivo* dei concetti astratti di spazio e di tempo. La peculiarità della chimica sta invece nel fatto che i suoi concetti fondamentali sono privi di questa connessione diretta con i dati sensoriali. Per esempio i corpi combustibili non sono distinguibili su base morfologica da quelli che tali non sono. Benzina, legno e carbone non hanno caratteri morfologici percepibili che inducano a porli nella stessa categoria dei "combustibili". L'acquisizione conoscitiva di caratteri connessi alla composizione dei corpi materiali deve quindi basarsi su modalità di analisi sperimentali che sono prive di uno stadio morfologico paragonabile a quello della matematica e delle altre scienze sperimentali [6-8].

Tutto ciò dà lo spunto, prima di entrare nel merito dei rapporti fra la Didattica della Chimica, le altre Didattiche Disciplinari e la Didattica Generale, per illustrare alcuni problemi che la Didattica della Chimica è chiamata a risolvere.

Alcuni nodi concettuali nella Didattica della Chimica.

Il significato delle parole nella scienza chimica e nel linguaggio comune

Nei fondamenti della chimica, e nel loro sviluppo storico, si ritrovano i concetti di base che si rivelano anche "ostacoli" all'apprendimento per la padronanza da parte degli scolari e al riconoscimento, da parte sia degli studenti sia del "pubblico", che la chimica "permea" tutto ciò che ci circonda.

Da quanto detto nel paragrafo precedente, scende che non si può costruire alcun percorso didattico fruttifero in chimica se non si fa acquisire preliminarmente il fondamento che i corpi materiali che ci circondano ("naturali" o "artificiali" e di cui la chimica studia la composizione e la loro trasformazione in altri corpi materiali diversi) sono costituiti o da una *singola sostanza* o da *aggregati di più sostanze*, e che esistono metodi operativi per separare le varie sostanze da un aggregato e criteri per stabilire il *grado di purezza* di una sostanza "singola". Ciò porta alla necessità di distinguere fra i significati delle parole nella scienza chimica e nel linguaggio comune. "Acqua minerale purissima", recita una nota pubblicità, ebbene, da un punto di vista chimico quell'acqua contiene, oltre alla ben nota H_2O, anche quantità misurabili di sali minerali, in particolare solfati, cloruri, bicarbonati di sodio, potassio, magnesio, calcio, ecc, oltre a una quantità variabile di gas biossido di carbonio (anidride carbonica), che produce le tipiche "bollicine" se l'acqua minerale in questione è del tipo "frizzante". In tutti i sensi, dunque, la nostra "acqua minerale purissima", purissima non lo è affatto, e i suoi effetti eventualmente benefici (diuretici, nelle diete povere di sodio, ecc.) sono proprio dovuti alla presenza delle sostanze in essa contenute.

Sempre per stare in argomento, l'aggettivo "puro" viene quasi inevitabilmente associato a corpi materiali di origine naturale in contrapposizione a prodotti "artificiali" (o di sintesi, cioè fabbricati dall'uomo, dai "cattivissimi" chimici). Molti credono, ad esempio, che la vitamina C contenuta nella frutta sia più efficace di quella sintetizzata dall'industria farmaceutica, perchè la prima è "naturale" (e quindi "pura") mentre la seconda è "artificiale" (e quindi "nociva"). Niente di più *falso*: la vitamina C estratta dagli agrumi e quella di sintesi, allo stesso grado di purezza, sono assolutamente indistinguibili, *sono la stessa sostanza* e quindi hanno gli stessi effetti. In linguaggio chimico ciò si traduce dicendo che le proprietà di una sostanza sono determinate dalla sua struttura molecolare (che è unica) e non dal come è stata ottenuta. Un terzo esempio: non molti anni fa un referendum popolare ha abolito l'uso di alcuni pesticidi. In primo luogo ciò non è affatto servito allo scopo dei promotori del referendum in quanto l'industria aveva già prodotto altri pesticidi con struttura molecolare anche solo di poco diversa, ma, secondariamente, il grande pubblico è stato tenuto all'oscuro del fatto che i vegetali, per proteggersi dall'aggressione di parassiti e insetti producono chimicamente sostanze "naturali" tossiche che, rispetto ai pesticidi di sintesi, sono altrettanto nocivi per l'uomo. In terzo luogo non viene mai detto che mediamente, con la dieta giornaliera, ingeriamo più pesticidi "naturali" che pesticidi prodotti per sintesi dall'industria.

Mostrerò che non è facile, a nessun livello scolare, fare acquisire questo fondamento a meno che, come afferma N. Grimellini Tomasini, "insegnanti e studenti assumano di fronte *all'insegnamento/apprendimento della [chimica]* un atteggiamento di ricerca in modo da configurare il lavoro scolastico come *processo di indagine*..." [5].

Sviluppo storico di alcuni fondamenti di Chimica.

Le interconnessioni fra Didattica della Chimica e altre Didattiche disciplinari

La precisazione del concetto di sostanza e le procedure operative per stabilirne il grado di purezza è stato un grande ostacolo anche per lo sviluppo della scienza chimica e c'è voluto più di un secolo perchè fosse chiarito. Il primo a porsi il problema fu Robert Boyle, attorno al 1660, ma solo attorno al 1785, ad opera principalmente di chimici francesi, esso fu risolto e furono messi a punto procedimenti operativi per determinare e controllare il grado di purezza delle sostanze. Prima di allora vi erano state vere e proprie diatribe fra chimici di varia nazionalità che ottenevano risultati molto diversi sperimentando con gli stessi corpi materiali. E' famosa la polemica fra un chimico tedesco e uno francese sui risultati diversi di uno stesso esperimento effettuato con acido muriatico [cloridrico] (anche oggi una soluzione acquosa di acido cloridrico viene volgarmente chiamata acido muriatico). La polemica fu risolta quando ci si accorse appunto che l'acido impiegato dal tedesco e quello impiegato dal francese contenevano una quantità notevole di impurezze *diverse*, si trattava cioè di *miscugli* diversi, e ciò spiegava i risultati contrastanti dell'esperimento [10]. Quando dai due miscugli venne separato l'acido allo stesso grado di purezza ovviamente gli esperimenti condussero a risultati concordanti. Quindi, per discriminare fra sostanze e miscugli di esse sono necessarie manipolazioni e confronti e l'individuazione di *proprietà invarianti* caratteristiche di ogni sostanza "singola" e il cui valore dà anche un'idea del grado di purezza delle sostanze. Queste proprietà possono essere di natura "fisica" (densità, temperatura di fusione, temperatura di ebollizione, indice di rifrazione, ecc.) o chimica (costanza della composizione chimica, spettri di assorbimento, cromatogramma, ecc) [11].

Come è quindi pensabile affrontare l'insegnamento/apprendimento di questi concetti in modo "tradizionale", "raccontando" e facendo studiare il primo capitoletto di un usuale testo di chimica di base, o anche facendo effettuare i "tradizionali esperimenti" riportati in molti manuali, quando agli stessi chimici occorsero più di cento anni per risolvere il problema? Ritorneremo più avanti con una proposta concreta.

Mi sia concesso brevemente un altro esempio. Attorno al 1811 il chimico Amedeo Avogadro formulò l'ipotesi che "*volumi uguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione contengono lo stesso numero di molecole*". L'ipotesi naturalmente non era "gratuita" poichè si basava sull'analisi dei risultati di numerosissimi esperimenti effettuati dal francese Gay Lussac su reazioni chimiche fra gas. L'ipotesi conteneva non soltanto un mezzo per determinare le masse molecolari e le formule chimiche delle sostanze, ma anche il concetto che una massa di qualsiasi sostanza numericamente uguale alla sua massa molecolare contiene lo stesso numero di molecole. E' il "famoso" e molto temuto dagli studenti concetto di *mole*. Orbene, i

chimici si convinsero della fondatezza dell'ipotesi di Avogadro soltanto più di cinquanta anni dopo, ad opera del grande chimico italiano Stanislao Cannizzaro.
Gli insegnanti di chimica continuano comunque generalmente a "spiegare" il concetto di mole in una o due lezioni "gesso e lavagna", spesso facendo uso di modelli imprecisi che gli allievi in genere recepiscono poco. A tutto ciò vengono poi di solito fatti seguire tutta una serie di esercizi numerici dove si deve utilizzare il concetto di mole: quando va bene, gli allievi si rendono prima o poi conto del "meccanismo" di risoluzione e li risolvono meccanicamente. Il concetto non viene pertanto compreso e acquisito. Qui ci sarebbe pure da chiedersi se è proprio necessario fornire questo concetto molto astratto in un corso di chimica di base che dovrebbe avere carattere culturale e non professionale, ma il discorso ci porterebbe troppo lontano.
Mi preme far notare invece che tutto quanto detto costituisce un esempio di possibili e necessarie interconnessioni fra la didattica della chimica e altre didattiche disciplinari. Il fatto ad esempio che il grado di purezza di una sostanza "singola" possa essere controllato attraverso proprietà "fisiche" ci conduce a ritenere (se mai ci fossero stati dubbi) che larga parte dell'insegnamento/apprendimento della fisica e della chimica potrebbe procedere in modo *integrato*. Il programma di "Scienza della Materia" del Progetto IGEA e quello di "Laboratorio di Chimica e Fisica" del "Progetto Brocca" vanno indubbiamente in questa direzione, ma affinchè possa realizzarsi, almeno in parte, una vera integrazione, i docenti devono essere adeguatamente preparati. A quanto ci risulta ben poche sono state le iniziative ministeriali in tal senso; qualche attività di formazione e aggiornamento è stata intrapresa da Associazioni di Insegnanti e da Gruppi di ricerca in didattica, tuttavia moltissimo è stato lasciato alla "buona volontà" dei singoli docenti.
Come abbiamo visto, la chimica (come tutte le altre scienze e la matematica) ha un proprio specifico linguaggio che utilizza spesso vocaboli del linguaggio comune, ma con significati del tutto diversi. Dovrebbero quindi instaurarsi interconnessioni fra la didattica dell'Italiano e quella delle discipline scientifiche. Per tornare all'esempio del concetto di sostanza e del suo grado di purezza, si deve rilevare che il sostantivo *purezza* e l'aggettivo *puro* hanno significati diversi nel linguaggio comune, di tutti i giorni, e in quello specifico della scienza chimica. Ad esempio, nel linguaggio comune, è frequente l'uso dell'aggettivo *puro* per indicare il latte, l'olio, ecc. Da un punto di vista chimico questi corpi materiali sono emulsioni o miscugli di più sostanze e quindi non sono "puri". Anche i sostantivi *sostanza* ed *elemento* hanno significati diversi nel linguaggio comune, in quello filosofico e in quello chimico. Vi è quindi grande possibilità di interconnessione anche fra la didattica della filosofia e quella delle discipline scientifiche. Si potrebbero trovare decine, forse centinaia di altri analoghi esempi.
In effetti, se questi diversi significati di uno stesso vocabolo nella lingua parlata e nel linguaggio delle scienze non vengono chiariti, si dà luogo a incomprensioni profonde, che sono poi difficilissime da rimuovere. A proposito del significato del vocabolo *sostanza* nel linguaggio chimico, E. Roletto ha effettuato due dettagliate ricerche, una su studenti delle scuole secondarie superiori [12] e l'altra su studenti universitari di chimica [13]: i risultati hanno mostrato non solo una vasta gamma di significati non chimici nel primo gruppo di studenti, ma anche che un certo numero di studenti universitari del corso di laurea in chimica non conosce l'esatto significato chimico del vocabolo.

L'"immagine" della chimica nel pubblico

La chimica soffre poi di un altro problema e cioè la cattiva immagine che ne ha il pubblico. Di tale problema deve farsi carico anche la didattica della chimica. I media e la pubblicità ingannevole e distorcente alimenta questa pessima immagine della chimica. Valga per tutti il seguente esempio: il Consorzio del Prosciutto di Parma ha recentemente pubblicizzato il suo prodotto a pagina intera su quotidiani e settimanali, mostrando l'immagine di un piatto contenente fette di prosciutto e sotto la scritta in caratteri grandi e maiuscoli: PUREZZA SI, CHIMICA NO. E' logico che le persone vengano ingannate da questo tipo di pubblicità: non nego che il Prosciutto di Parma sia un ottimo prodotto, dico solo che, a parte che nella sua lavorazione entra anche un po' di chimica, esso è ben lungi dall'essere una sostanza pura in senso chimico perchè è un aggregato di proteine, grassi, carboidrati, sali minerali, ecc.
Gli insegnanti di chimica (e non solo quelli di chimica) dovrebbero essere consapevoli dei pericoli derivanti da queste distorsioni e trattare con obiettività i benefici che un corretto uso della chimica porta al miglioramento della qualità della vita e i rischi che derivano invece da un uso sconsiderato della chimica.

Problemi legati al trasferimento delle conoscenze chimiche

Prima di affrontare questo argomento vorrei citare una frase contenuta in un manoscritto di Antoine Laurent Lavoisier, il quale, sebbene non abbia mai insegnato, si preoccupò della formazione di buoni insegnanti di chimica. La frase è la seguente:

Due sono le domande da fare agli allievi quando si comincia a insegnare: che cosa sapete? Che cosa volete sapere? A maggior ragione chi insegna deve porsi due domande: dove comincia e dove finisce il libro che mi propongo di seguire?

(A.L. Lavoisier, Sur la manière d'enseigner la chimie, fine 1700)

Si nota qui che nella concezione lavoisieriana del processo di insegnamento/apprendimento è abbastanza evidente il principio di quella teoria pedagogica che è oggi nota come "costruttivismo".
Tornando al presente, occorre riconoscere che, in generale, nel nostro Paese, le conoscenze di chimica (come pure quelle delle altre scienze), vengono trasferite tramite un processo che assomiglia molto a un "racconto" (vi sono tuttavia casi lodevolisimi di altre metodologie didattiche che fanno anche uso dello "strumento laboratorio", e non solo negli Istituti Tecnici). Questa chimica "raccontata", infarcita di formule ed equazioni, risulta noiosissima e ostica agli allievi (dovrebbe essere altrettanto per gli insegnanti). Anche l'Università non è certo scevra da questo tipo di approccio. Anche la verifica dell'apprendimento è largamente basata sul "racconto", orale e/o scritto. Ad esempio: "Parlami degli acidi e delle basi", oppure: "Illustra cosa sono e come funzionano gli zuccheri", o ancora: "Descrivi la struttura

atomica", ecc.
Il past-President della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana, Eugenio Torracca, ha definito più volte questo modo di procedere come il "patto scellerato", nel senso che il docente (di scuola o universitario che sia) si impegna a "spiegare" in dettaglio tutte le parti del programma che intende svolgere e in cambio assicura agli allievi che saranno "interrogati" solo su quanto è stato spiegato. Questo modo di procedere non è affatto scientifico, anche se può condurre all'"apprendimento" di molte nozioni (ad es. molte di più di quelle che vengono fornite agli allievi anglosassoni), ma esso è evanescente, poco duraturo, non fa cogliere gli aspetti problematici propri delle discipline scientifiche (e non) e, soprattutto, non accresce il cosiddetto "bagaglio culturale" del futuro cittadino. Gli studenti delle nostre scuole medie e secondarie superiori sono risultati, in quasi tutte le indagini comparative effettuate a livello internazionale, molto preparati nei quesiti di tipo "nozionistico", ma molto deboli nella capacità di risolvere problemi, anche semplici, che richiedono di saper trattare una tabella di dati per ricavarne un grafico o, viceversa, ricavare da un grafico uno specifico dato [14].
Va detto chiaramente anche che, nonostante il nostro "provincialismo accademico", che richiede sempre più che gli articoli scientifici siano pubblicati su riviste internazionali (americane o inglesi) a grande diffusione e con parametri di qualità alti o altissimi (pena un netto taglio dei finanziamenti per la ricerca), non si fida però nè dei "programmi d'insegnamento" svolti nelle università inglesi o americane nè nei loro sistemi di valutazione, giudicando i primi insufficienti dal punto di vista dei contenuti, e i secondi troppo "facili". Costoro si dimenticano però che, in generale, in quei Paesi non esiste il "patto scellerato", ma piuttosto il "contratto formativo" (o "didattico", come lo chiama N. Grimellini Tomasini [5]). In base a questo "contratto", l'Università (o la Scuola) si impegnano a fornire agli studenti una serie di 25-30 ore di lezione (dette "moduli", ma ben diversi dalle nostre "unità didattiche") in cui il docente illustra i principi fondamentali della sua disciplina e un "tutorato" (un vero tutorato, non una mera serie di consigli), gestito da studenti anziani che fanno svolgere sia attività pratiche di laboratorio sia di risoluzione di problemi (non solo numerici). Da parte sua l'allievo si impegna a rispettare gli standard stabiliti dall'Università (o dalla Scuola), pena l'esclusione dopo due o tre fallimenti agli esami. Tutto ciò si traduce in un processo di "progressiva *costruzione di conoscenza individuale, orientata alla conoscenza disciplinare*, poichè sono stati preventivamente definiti e condivisi gli obiettivi conoscitivi, l'ambito di ricerca, le modalità di interazione con le persone e con i fenomeni" [5].
In un tale contesto sarebbe ben difficile che uno studente al termine del suo corso di studi mi consegni (come mi è ripetutamente capitato) un compito in cui il risultato di un semplice problema che richiede quanto sale sciogliere in una soluzione fisiologica da fleboclisi, nota la pressione osmotica del sangue, è di 800 g per Kg ! Probabilmente lo studente anglosassone non saprebbe dimostrarmi per via termodinamica l'equazione della pressione osmotica (che lo studente italiano impara, generalmente, a memoria, per poi dimenticarsela subito dopo aver superato l'esame), tuttavia personalmente preferisco che uno studente sia in grado di riconoscere uno "svarione madornale" nel risultato di un problema, piuttosto che mi sappia ricordare una dimostrazione che si trova, all'occorrenza, su qualsiasi testo.

Gli approcci alternativi

Non è mia intenzione qui fare del "provincialismo alla rovescia", sappiamo tutti che gravi problemi affliggono le scuole anglosassoni, ma occorre riconoscere che, quando i problemi diventano pressanti, si mette in moto un'organizzazione competente e seria che lavora a tempo pieno per cercare le soluzioni e, soprattutto, per sperimentarle. In generale questo compito non è affidato a tecnici (o supposti tali) dei Ministeri centrali o locali dell'Educazione, ma ad Associazioni Scientifiche e Professionali di cui è riconosciuta la competenza o a gruppi di ricerca nella specifica didattica disciplinare dove il problema si è riscontrato.
Non è il caso qui di proporre la storia dei vari progetti americani e inglesi per l'insegnamento della chimica che sono stati sperimentati e largamente impiegati a partire dagli anni '60 fino ai primi anni '80 (Chem-Study e successive revisioni, Nuffield Chemistry e successive revisioni), nè di insistere sulla descrizione del recente progetto inglese Salter's, poichè è stato illustrato in dettaglio in altra sede [15] e inoltre è difficilmente adattabile a una organizzazione scolastica come la nostra, completamente diversa da quella inglese.
Vale invece la pena descrivere, a grandi linee, la filosofia e i contenuti del Progetto americano noto come ChemCom (abbreviazione di Chemistry in the Community), un Progetto dell'American Chemical Society, giunto nel 1993 alla sua seconda edizione. Va subito detto che è molto difficile, se non impossibile, trasportare *sic et simpliciter* un progetto pensato e costruito per la situazione di un dato Paese in un altro Paese, tuttavia ci sembra che la filosofia e l'approccio proposto dal ChemCom possano essere prese a modello per un'alternativa all'attuale situazione italiana dell'insegnamento/apprendimento della chimica.
Anzitutto il ChemCom è un progetto per l'insegnamento/apprendimento della chimica a livello di formazione generale culturale, e si pone come obiettivi generali:
- collocare la chimica nel contesto sociale;
- utilizzare la chimica per comprendere i problemi tecnologici e sociali della società contemporanea;
- introdurre a una razionale interpretazione dei dati e delle informazioni;
- sviluppare le capacità di prendere decisioni su basi ragionevoli;

L'approccio del ChemCom prevede di:
- trattare argomenti di rilevanza sociale che richiedono conoscenze chimiche;
- far capire agli allievi la necessità di possedere un insieme di conoscenze chimiche per poter discutere in modo intelligente i problemi di rilevanza economica e sociale.

Partendo dalla considerazione che i cittadini che non siano operatori scientifici necessitano principalmente di distinguere la scienza dalla pseudoscienza e di formarsi idee ragionevoli sull'uso appropriato della scienza nella società, il Progetto ChemCom ha prodotto un testo per gli allievi e una Guida per gli insegnanti radicalmente diversi da quelli "tradizionali" [16]. Gli allievi apprendono i concetti fondamentali della chimica in un contesto sociale e imparano a usare informazioni di tipo chimi-

co per risolvere problemi plausibili nei quali ci si imbatte ogni giorno.
I grandi argomenti (suddivisi poi in "sottocapitoli") trattati nel testo (il corso è annuale) sono:
- Come sopperire alle nostre necessità d'acqua.
- Uso razionale delle risorse chimiche.
- Il petrolio e i suoi usi.
- Gli alimenti
- La chimica nucleare nel nostro mondo.
- Chimica, aria e clima
- Chimica e salute
- L'industria chimica: promessa e sfida.

Molti colleghi (i meno "tradizionalisti") si domanderebbero dove stanno i concetti fondamentali di chimica in questi argomenti. I più tradizionalisti insorgerebbero poichè questo Progetto non rispetterebbe la struttura "dottrinale" della scienza chimica. La maggior parte dei nostri docenti ritiene infatti che il rispetto dell'evoluzione dei contenuti e la coerenza interna della scienza chimica sia condizione necessaria a garantire l'efficacia dell'insegnamento, cioè sia il modo migliore per trasferire la conoscenza scientifica agli allievi, qualunque sia la loro età, la loro esperienza e il loro insieme di abilità e capacità. E' fuor di dubbio che questo sia il modo corretto di procedere a livello terziario (o anche secondario avanzato), quando gli studenti sono in via di consolidare o hanno consolidato tutto un insieme di abilità formali, ma non è affatto detto che sia altrettanto corretto (oltre che efficace) a livello introduttivo o di formazione culturale generale.
Ma entriamo con un qualche dettaglio nel primo degli argomenti proposti dal ChemCom e vediamo se si tratta solo di "chiacchiere" o se i concetti ci sono e quale è l'approccio didattico.
"Come sopperire alle nostre necessità d'acqua" inizia con la lettura di un articolo tratto da un quotidiano in cui si annuncia una strana morìa di pesci in un tratto di fiume che passa per un agglomerato urbano, che trae acqua per tutti gli usi proprio da quel tratto di fiume. C'è una pianta della cittadina, con la dislocazione delle abitazioni, di un'industria e dell'impianto idrico per l'acqua potabile compreso di depuratore. L'articolo prosegue informando che le autorità cittadine hanno sospeso l'attività dell'impianto idrico in attesa che vengano accertate le cause della morte dei pesci e che, nel frattempo, l'acqua potabile sarà trasportata con autobotti da una cittadina vicina. Questo dà lo spunto per discutere il problema dell'acqua e della salute di animali acquatici e persone, per stimolare gli allievi a descrivere i vari usi dell'acqua, il trasporto dell'acqua potabile dall'impianto idrico alle abitazioni e da dove viene l'acqua della Terra. Le necessità d'acqua per vari usi e il suo trasporto attraverso le condotte introduce il discorso sulle grandezze fondamentali del SI e sulle loro unità di misura. L'attività di laboratorio inizia "sul campo", col prelievo di campioni di acqua da diversi punti del tratto di fiume, dalle condotte, ecc. I campioni vengono portati in laboratorio e si chiede agli studenti che cosa deciderebbero di fare per ottenere informazioni utili a risolvere il problema. Anzitutto gli allievi catalogano i campioni prelevati e ne annotano le differenze osservabili: colore, torbidità, presenza di sostanze solide, ecc e li confrontano con un campione di acqua potabile. Insieme al docente viene fatta una discussione sulle proprietà dell'acqua: densità, temperatura di ebollizione e di fusione, conducibilità elettrica. L'osservazione dei campioni fornisce anche lo spunto per introdurre i concetti di miscuglio e soluzione. A questo punto l'insegnante presenta un modello molecolare della molecola di acqua e ciò è anche spunto per condurre gli allievi a un primo concetto di simboli e formule chimiche.
In laboratorio i ragazzi passano ad un esame più analitico dei campioni: misura della densità, filtrazione di quantità misurate dei campioni, essiccamento e pesata dei residui, nuova misura di densità, misure di conducibilità elettrica. Porzioni misurate dei campioni vengono fatte evaporare e i residui pesati. Altre porzioni misurate vengono distillate e l'acqua distillata viene raccolta e misurata. Tutte queste attività sono finalizzate a discutere con i ragazzi le procedure di separazione dei componenti di un miscuglio e a introdurre per via fenomenologica i concetti di soluzione, solvente, soluto, solubilità, concentrazione, contaminanti. Le misure di conducibilità sui campioni e sull'acqua distillata condurranno alla nozione di ioni e composti ionici. Le attività proseguono con lo studio dell'ossigeno disciolto, sull'ossigeno necessario alla sopravvivenza degli animali acquatici, sull'acidità dei campioni, ecc. Non ritengo, anche per ragioni di spazio, di addentrarmi oltre nell'esempio, reputo infatti che la filosofia e l'approccio metodologico all'insegnamento/apprendimento della chimica proposto dal ChemCom siano ora chiari e che sia anche chiaro che i fondamenti della chimica di base sono ben presenti nel progetto.
Mi sembra che questo progetto vada nella direzione di quanto scritto da N. Grimellini Tomasini [5] circa un approccio fenomenologico all'insegnamento/apprendimento della fisica che, "a partire dalla complessità del fenomeno porti alla "semplicità" degli esperimenti, delle leggi, dei principi...e quindi il significato che assume l'*esperimento come strumento di costruzione di conoscenza*."
Come tutti i Progetti americani, anche il ChemCom è alquanto "prescrittivo" nel senso che la Guida per gli insegnanti precisa in grande dettaglio le attività dell'insegnante in classe, in laboratorio, sul campo, quali domande porre ai ragazzi circa le decisioni da prendere, ecc. Ritengo che una maggiore flessibilità, ad esempio per far imparare ai ragazzi a porre le domande per risolvere i problemi, lasciando un margine, anche ampio, per "domande poco sensate" o per esperimenti che non necessariamente forniscono le risposte "giuste", renderebbe il percorso ancora più stimolante.

Rapporti fra Didattica della Chimica e Didattica Generale

Ritengo anzitutto che l'analisi dei rapporti fra Didattica Generale e Didattiche Disciplinari sviluppata da Bruno D'Amore sul n. 2, 1994 di *La Didattica* [4] sia, anche a distanza di sei anni, fondamentalmente valida. Vi sono, ad esempio, aspetti metodologici di carattere generale che chi si occupa di didattiche disciplinari deve conoscere per applicarli nel suo specifico ambito o nella sua specifica ricerca. D'Amore fa riferimento sia a tematiche legate ad aspetti cognitivi, affettivi, di identità, ecc., sia a metodologie di didattica per gruppi, o per problemi, o per discussione, ecc.
Tutto ciò fa parte degli oggetti e dei metodi di studio e di ricerca della Didattica Generale, che, come detto, devono essere noti a chi si occupa e fa ricerca nelle didattiche disciplinari. Sono tuttavia convinto, come D'Amore, che la ricerca in didattica generale necessiti di apporti, soprattutto sottoforma di apporti metodologici e

di situazioni concrete, dalle didattiche disciplinari. Senza tali apporti, la didattica generale rischia di sterilizzarsi e quindi di non progredire sia nella sua teoria sia nella sua prassi. Infatti, i problemi delle didattiche disciplinari, "*ogni volta che sono generalizzabili, costituiscono oggetto di studio e ricerca all'interno della didattica generale*" [4].

Ciò implica che, così come coloro che si occupano di didattiche disciplinari devono conoscere i fondamenti e la metodologia empirica della didattica generale, anche i ricercatori in didattica generale dovrebbero conoscere i concetti portanti delle didattiche disciplinari e farsi un'idea, la più precisa possibile, di quelli che costituiscono i principali "ostacoli" all'apprendimento della disciplina. E' ovvio che il "didatta generale" non potrà occuparsi delle epistemologie di tutte le didattiche disciplinari, ma potrebbe "specializzarsi" almeno in una particolare. Sto pensando a un sistema "all'inglese", dove chi si occupa di "didattica generale" ha, di solito, un "major" in scienze dell'educazione e della formazione e un "minor" in una disciplina scientifica o umanistica.

In questo modo si potrebbe stabilire uno stretto rapporto fra didattica generale e didattiche disciplinari che potrebbe avvenire sul seguente piano: ad esempio l'esperto e/o il ricercatore in didattica della chimica ha un certo problema di trasferimento di alcune conoscenze agli allievi, ne discute in modo scientifico, non "neutro" con il collega di didattica generale che conosce almeno i nodi concettuali della disciplina, gli fornisce, se necessario, ulteriori informazioni chimiche, e, *insieme*, studiano una possibile strategia per risolvere quel dato problema.

La ricerca in didattica della chimica: i suoi problemi e i suoi rapporti con la ricerca in didattica generale

Nella 1st European Conference on Research in Chemical Education, tenutasi a Montpellier nel 1992, R.F. Kempa fece il punto della situazione sulla ricerca in didattica della chimica, sui risultati ottenuti e soprattutto sull'impatto di questi nella pratica didattica [17]. Vale la pena riassumere brevemente, per punti, quanto emerse da quella dettagliata analisi:

a) è generalmente ammesso che la didattica della chimica, come disciplina accademica "riconosciuta", e con essa la ricerca in didattica della chimica, "nacque", nei primi anni '60, dalla necessità di rinnovare i curricula di chimica a livello pre-universitario. Gli scopi di questo "movimento rinnovativo" erano duplici: da un lato i nuovi curricola avrebbero dovuto aumentare l'interesse degli studenti verso la chimica e di conseguenza far aumentare il numero di immatricolazioni nei corsi universitari a carattere chimico, dall'altro migliorare la qualità dell'insegnamento/apprendimento della chimica. Questo tipo di ricerca era sostanzialmente focalizzata sulla disciplina: riesame dei concetti e degli argomenti-chiave, inserimento di nuovi e attuali sviluppi della chimica, uso del laboratorio per meglio trasmettere questi concetti e argomenti agli allievi. Come abbiamo già visto, questo filone di ricerca, chiamiamola "curricolare", viene ancora svolta, come mostrano i già citati Progetti Salters' e ChemCom, focalizzando tuttavia l'attenzione più sulle "necessità" degli allievi che su quelle della disciplina.

In effetti, Kempa fece notare che i Progetti sviluppati negli anni '60 e successive revisioni (Chem Study negli USA, Nuffield Chemistry in Inghilterra e altri, prodotti in Francia, Germania, Israele, India, ecc.) non condussero in realtà ai risultati attesi;

b) tutto ciò aprì un altro settore di ricerca in didattica della chimica e, più in generale, delle scienze (soprattutto della fisica): l'indagine sulle difficoltà degli studenti nell'apprendere concetti-chiave, specialmente quelle derivanti dalle cosiddette "misconcezioni" o "rappresentazioni alternative" o "rappresentazioni di senso comune". Questo campo di ricerca si è dimostrato molto fertile: basti pensare che la *Bibliography on Students' Alternative Frameworks and Science Education*, riportava, nella sua prima edizione (1985), 700 riferimenti bibliografici, nella seconda (1988), circa 1400 e nella terza (1991), ben 2000 riferimenti bibliografici [17]. Anche se la maggior parte di questi studi riguardavano la fisica, l'opinione di Kempa è che, nel 1991, 200 citazioni riguardassero ricerche su concezioni e misconcezioni in chimica;

c) altri settori di ricerca che si svilupparono furono (e sono): le ricerche sulle tecniche di problem solving, sui rapporti in classe, sugli effetti delle caratteristiche psicologiche degli studenti sul processo di insegnamento/apprendimento, su metodi e tecniche di valutazione, ecc.

Ma, nonostante l'enorme crescita qualitativa e quantitativa della ricerca in didattica della chimica, Kempa mostrò che la ricaduta dei risultati delle ricerche nella pratica didattica era molto bassa. A parere di Kempa [17] ciò era principalmente dovuto al fatto che le pubblicazioni e i resoconti delle ricerche (svolte prevalentemente da universitari) erano particolarmente carenti nella sezione delle "implicazioni dei risultati", che forma l'usuale parte conclusiva di un lavoro di ricerca. Kempa mostrò che gli Autori asserivano frequentemente che i risultati riportati nei loro studi avevano implicazioni ben definite per il lavoro degli insegnanti, ma tali implicazioni non erano ben chiare e articolate, dando solo pochi orientamenti per l'insegnamento.

In sintesi, i suggerimenti di Kempa per aumentare l'impatto dei risultati della ricerca sulla pratica didattica furono:

i) scegliere, per quanto possibile, temi di ricerca strettamente collegati alla pratica del lavoro in classe;

ii) instaurare, nella conduzione delle ricerche, una collaborazione fra ricercatori universitari e insegnanti su un piano paritetico.

Purtroppo, a distanza di cinque anni, durante la 4ª edizione dell'European Conference on Research in Chemical Education, svoltasi a York nel settembre 1997, A.H. Johnstone ha riesaminato il problema giungendo alla conclusione che non vi sono stati significativi progressi nella ricaduta dei risultati della ricerca nella pratica didattica [18]. Egli, sulla base della sua notevole esperienza come ricercatore e come revisore di articoli scientifici per prestigiose riviste internazionali, ha affermato che ancora oggi, la maggior parte delle ricerche e delle attività in didattica della chimica hanno scopi limitati, molto "localizzati" e talvolta ripetitivi. Spesso i risultati di ricerche sulle "rappresentazioni alternative" degli studenti rispetto agli stessi concetti di base della chimica, svolte in Europa, Australia, Stati Uniti, ecc. non arrivano più in là della conclusione che "gli studenti hanno gravi problemi di apprendimento" [18]. Raramente i resoconti e gli articoli di ricerca propongono soluzioni efficaci per superare questi ostacoli.

L'analisi di Johnstone dei lavori pubblicati, anche sulle riviste più quota-

te, riguardanti altri settori di ricerca in didattica, come lo studio di nuove dimostrazioni pratiche, di nuovi esperimenti di laboratorio, la messa a punto di software didattico, ecc., lo ha portato a concludere che, nonostante tutto ciò sia utile, non è il prodotto di una ricerca sistematica che tenga conto di "come" gli studenti apprendono.

Ma Johnstone sostiene, a ragione, che la ricerca in didattica della chimica è un'attività seria, con un proprio "know-how", con proprie teorie e proprie metodologie. Sicchè non si possono intraprendere ricerche in didattica della chimica senza aver prima speso mesi nello studiare, leggere, consultare e lavorare in un centro di eccellenza [18]. E' esattamente quello che fa un ricercatore in chimica quando decide di cambiare settore di ricerca.

La soluzione proposta da Johnstone per rimediare al problema dello scarso impatto dei risultati della ricerca nella pratica, è la necessità di pianificare le ricerche su una consolidata teoria dell'apprendimento, che permetta di formulare ipotesi verificabili sperimentalmente e di giungere a conclusioni generalizzabili. Johnstone cita alcuni modelli di apprendimento in generale e della chimica in particolare: il modello di Perry sullo sviluppo intellettivo [19] e la sua applicazione all'apprendimento della chimica [20], un proprio modello sull'elaborazione mentale delle informazioni [18], ecc.

Troviamo qui un ottimo terreno di incontro fra il ricercatore in didattica della chimica e quello in didattica generale che intendesse studiare l'applicazione di modelli generali a casi concreti e particolari.

Infine, Johnstone ha individuato alcuni settori di ricerca in cui urgono interventi innovativi basati su teorie e modelli dell'insegnamento/apprendimento:

- acquisire la conoscenza dei diversi "stili" di apprendimento degli studenti al fine di proporre efficaci percorsi di apprendimento personalizzato;
- ruolo delle nuove tecnologie nell'apprendimento;
- ricerca di nuove strategie di problem-solving che, a prescindere dagli algoritmi di calcolo, conducano ad approcci sistematici che sviluppino la creatività degli allievi;
- studio delle interconnesioni fra i tre livelli di apprendimento della chimica: macro, submicro e simbolico, al fine di evitare e/o "correggere" le "rappresentazioni alternative";
- studio di come inserire la chimica "scolastica" nel contesto sociale;
- ricerca di valide alternative ai quesiti a scelta multipla come strumenti di valutazione.

Alcune considerazioni finali

Da tutto quanto detto scende che c'è molto da fare per fornire soluzioni, anche parziali, ai problemi esposti in questo contributo. Soprattutto per quanto riguarda la ricaduta dei risultati della ricerca nella pratica didattica è necessario, a mio parere, seguire sia la strategia indicata da R.F. Kempa sia quella suggerita da A.H. Johnstone.

La ricerca in didattica della chimica (e nelle didattiche disciplinari in generale), anche se non può trascurare suoi propri modelli teorici e deve interagire con la ricerca in didattica generale, è fortemente caratterizzata in senso applicativo, quindi, orientare le ricerche il più possibile verso risultati trasferibili nella pratica quotidiana di classe e coinvolgere, in modo paritetico, gli insegnanti nella ricerca è condizione necessaria per farla crescere.

Al tempo stesso sembra che in vari Paesi (fra i quali l'Italia) molte persone lamentino la loro condizione di ricercatori in didattica della chimica, che è, invero, ben poco considerata nell'ambito delle ricerche chimiche. E' quindi necessario formare e/o aggiornare queste persone nel senso indicato da Johnstone, indirizzandone la ricerca non su problemi "localizzati", ma su tematiche basate su principi generali, al fine di affrontare e risolvere alcuni problemi molto difficili così da poter condividere l'interesse per la ricerca in didattica della chimica con insegnanti e studenti e far capire ai colleghi universitari l'importanza e l'utilità di questa ricerca.

Bibliografia e note

[1] F. Frabboni, *Manuale di Didattica Generale*, Roma-Bari, Laterza, 1992, v. Prefazione e Cap. 2

[2] F. Frabboni, Il guardaroba scientifico della Didattica. L'abito epistemologico, *La Didattica*, **I** (1), 15-21 (1994)

[3] F. Frabboni, L'alfabeto empirico della Didattica. Le prime 5 parole del decalogo della Didattica: curricolo, programmazione, continuità, relazione, classe, *La Didattica*, **I** (2), 15-21 (1994)

[4] B. D'Amore, "Didattica generale" e "Didattica specifica". Ci sono convergenze possibili o solo dissidi?, *La Didattica*, **I** (2), 25-33 (1994)

[5] N. Grimellini Tomasini, Contro ogni riduzionismo, *La Didattica*, **II**(3), 49-54 (1996)

[6] L. Paoloni, *Nuova Didattica della Chimica*, Bari, Bracciodieta, 1982, pp. 20-21, 83, 90-91

[7] R. Cervellati, D. Perugini, *Guida alla Didattica della Chimica nella Scuola Secondaria Superiore*, Bologna, Zanichelli, 1987, pp. 111-112, 148-149

[8] R. Cervellati, La progettazione e la riorganizzazione dell'attività didattica attorno all'impianto modulare per la chimica, *Annali della Pubblica Istruzione*, **XXXVIII**, 599-614 (1992)

[9] P. Levi, T. Regge, *Dialogo*, Torino, Einaudi, 1984, p. 35

[10] P. Cancellieri, P. Saracino, E. Torracca, A. Turchi, Definizioni operative di sistema omogeneo e di sostanza pura, *Didattica delle Scienze*, **XX** (113), 9-15 (1984)

[11] esistono oggi tecniche analitiche strumentali molto raffinate per stabilire con grande precisione il livello delle impurezze contenute nelle sostanze, ma non è il caso qui di entrare in troppi dettagli tecnici.

[12] E. Roletto, Il concetto di sostanza pura, *Didattica delle Scienze*, **XXVII** (157), 16-20 (1992)

[13] E. Roletto, B. Piacenza, Il concetto di sostanza: una indagine sulle concezioni degli studenti universitari, *CnS-La Chimica nella Scuola*, n.5, 11-15 (1993)

[14] T.N. Postlethwaite (Ed), *Science Achievement in Seventeen Countries: A Preliminary Report*, Oxford, Pergamon Press, 1988

[15] R. Cervellati, R. Pentimalli, Il Progetto Salters' per l'insegnamento della chimica, *La Didattica*, **I** (2) 87-95 (1994)

[16] a) AA.VV. ChemCom: *Chemistry in the Community. A Project of the American Chemical Society. Student's Book*, Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Company, 1993; b) AA.VV. ChemCom: *Chemistry in the Community. A Project of the American Chemical Society. Teacher's Guide*, Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Company, 1993

[17] R.F. Kempa, Chemical Education Research: Past Achievement and Challenges for the future, Proceedings of the 1st ECRICE, *Le Bulletin du CIFEC*, Numero hors série, May 1993

[18] A.H. Johnstone, Research in Chemical Education: From Today to Tomorrow, 4th ECRICE, *Book of Abstracts*, 13-16, 1997

[19] D.C. Finster, Developmental Instruction Part I: Perry's Model of Intellectual Development, *J. Chem. Educ.*, **66**, 659-661 (1989)

[20] D.C. Finster, Developmental Instruction Part II: Application of the Perry Model to General Chemistry, *J. Chem. Educ.*, **68**, 752-756 (1991)

LA CHIMICA CON I COMPUTER

GIULIANO ALAGONA(*)
CATERINA GHIO (*)

L'Accademia Reale Svedese delle Scienze ha assegnato il premio Nobel per la Chimica 1998 nel campo della chimica quantistica, dividendolo a metà tra due scienziati di origine europea che operano negli Stati Uniti, Walter Kohn, della Università della California a Santa Barbara, e John A. Pople (tuttora cittadino britannico), della Northwestern University, Evanston, Illinois. La motivazione ufficiale è: "a Walter Kohn per lo sviluppo della teoria del funzionale densità ed a John Pople per lo sviluppo di metodi computazionali nella chimica quantistica" e nel commento aggiunto si dice che entrambi hanno dato un contributo pionieristico allo sviluppo di metodi computazionali per studiare le proprietà delle molecole e le loro interazioni.

I lettori di questa rivista ricorderanno un nostro articolo [1], apparso all'inizio del 1998, su alcune delle possibili applicazioni dei metodi computazionali nell'interpretazione e nella previsione di proprietà e reattività di sistemi molecolari complessi, quelle portate avanti dal nostro gruppo di ricerca. In questo articolo, invece, dedicato ai due premi Nobel, utilizzeremo materiale non nostro, citato nel manifesto e nei comunicati stampa dedicati all'argomento dall'Accademia Reale Svedese delle Scienze.

Nel 1964 Walter Kohn (insieme con Pierre Hohenberg) ha dimostrato un teorema che afferma che è sufficiente conoscere la densità elettronica (che in seguito chiameremo densità senza specificare ogni volta "elettronica") dello stato fondamentale per determinare tutte le quantità osservabili di un sistema quantistico stazionario. Un anno più tardi egli ha derivato (insieme con Lu Sham) un insieme di equazioni, che possono essere usate per determinare la densità dello stato fondamentale. Il teorema Hohenberg-Kohn e le equazioni di Kohn-Sham formano la base della moderna "teoria del funzionale densità" (chiamata DFT dall'acronimo della denominazione inglese *density functional theory*), che è stata estensivamente usata per lungo tempo per determinare la struttura elettronica di solidi e sta ora diventando uno strumento molto importante anche negli studi teorici dei sistemi molecolari.

John Pople ha fatto diventare la chimica quantistica uno strumento che può essere usato dalla generalità dei chimici ed ha quindi trasportato la chimica in una nuova era in cui esperimento e teoria possono lavorare assieme nell'esplorazione delle proprietà dei sistemi molecolari. La chimica non è più una scienza puramente sperimentale.

(*) CNR-ICQEM, Istituto di Chimica Quantistica ed Energetica Molecolare Area della Ricerca di Pisa San Cataldo, Via Alfieri 1, I - 56010 Ghezzano (Pisa)

Brevi profili biografici

Walter Kohn è nato nel 1923 a Vienna, in Austria. E' stato professore al Carnegie Institute of Technology a Pittsburgh tra il 1950 ed il 1960 e, successivamente, fino al 1979, alla University of California di San Diego. È stato direttore dell'Institute for Theoretical Physics della University of California di Santa Barbara, dove è tuttora attivo, dal 1979 al 1984.

John A. Pople è nato nel 1925 a Burnham-on-Sea nel Somerset, Gran Bretagna. Nel 1951 ha conseguito il Ph.D. in matematica a Cambridge (U.K.). Nel 1964 è diventato professore di Chimica-Fisica alla Carnegie-Mellon University di Pittsburgh negli Stati Uniti ed in seguito, nel 1986, professore di chimica alla Northwestern University di Evanston (Illinois), dove attualmente è professore emerito.

Introduzione storica

I fondamenti teorici della fisica (e della chimica) moderna sono stati formulati poco più di settanta anni fa con la formulazione della meccanica quantistica. E' diventato da allora possibile, almeno in linea di principio, capire come gli elettroni e i nuclei atomici interagiscono per formare i legami chimici che tengono uniti gli atomi producendo molecole e solidi. Le applicazioni della meccanica quantistica in chimica sarebbero giunte però solo molto più tardi. Non era infatti praticamente possibile maneggiare le complicate relazioni matematiche proprie della meccanica quantistica per sistemi così complessi quali le molecole.

Uno dei fondatori della fisica quantistica, Paul Dirac, nel 1929, enunciò il problema nei seguenti termini: "Le leggi fondamentali necessarie per la trattazione matematica di larga parte della fisica e della chimica nel suo complesso sono quindi completamente note, e la difficoltà risiede solo nel fatto che l'applicazione di queste leggi porta ad equazioni che sono di gran lunga troppo complesse per essere risolte".

Questa affermazione era certamente vera nel 1929. L'applicazione della nuova meccanica quantistica alla chimica in quei primi anni era principalmente di natura qualitativa (con una eccezione notevolissima, quella dello studio accurato dell'atomo di elio - un sistema con due elettroni- effettuato da Hylleraas nel 1928-1930). Questo lavoro qualitativo, tuttavia, pur con i suoi limiti, fornì ben presto una buona comprensione della natura del legame chimico e fece nascere una nuova scienza, la *chimica quantistica*. Non fu però che all'inizio degli anni Sessanta che gli scienziati cominciarono a sfidare seriamente la visione pessimistica di Dirac sulle possibilità di risolvere le equazioni quanto-meccaniche per le molecole. L'avvento dei primi calcolatori elettronici rese possibile esaminare le complesse equazioni da nuovi punti di vista.

I primi tentativi furono basati sul cosiddetto *modello a particelle indipendenti*, in cui il problema a molti corpi viene risolto come un insieme di problemi ad una particella, assumendo che ciascun elettrone si muova indipendentemente dagli altri nel campo creato dai nuclei, considerati fissi, e nel campo medio di tutti gli altri elettroni. Il termine orbitali (atomici o molecolari) fu coniato per queste funzioni d'onda monoelettroniche. Questo metodo era stato già sviluppato negli anni Trenta (da Hartree, Fock, Slater ed altri ancora) ed era stato applicato con successo a studi di atomi da Hartree e collaboratori, per cui viene chiamato metodo di Hartree-Fock (HF). Un contributo importante alla soluzione del problema fu dato abbastanza presto (nel 1951) da C. C. Roothaan, con un lavoro [2] nel quale suggerì di sviluppare gli orbitali in un set di base, trasformando così le equazioni differenziali in un problema matriciale ad autovalori che, come poi si vide, era adatto ad essere risolto mediante i computers. Un altro contributo importante era stato dato dall'ormai anziano S. F. Boys, che suggerì [3] che queste funzioni di base potessero essere poste in forma gaussiana ($e^{-\alpha r^2}$), cosa che avrebbe portato ad una notevole semplificazione nel calcolo degli integrali necessari, in quanto per tali funzioni gli integrali possono essere tutti risolti analiticamente. Forti di queste conoscenze, alcuni scienziati cominciarono all'inizio degli anni Sessanta a sviluppare il metodo Hartree-Fock per i sistemi molecolari. Vogliamo a questo proposito ricordare anche gli sforzi compiuti a Pisa, in cui nello stesso periodo fu fatto un programma [4] per trattare molecole di qualunque geometria (poi denominato MOLEC1), sforzi che furono indirizzati verso le funzioni di base di Slater ($e^{-\zeta r}$), che hanno un andamento più corretto di quelle gaussiane sia sul nucleo, dove presentano una cuspide, sia a grande distanza dal nucleo, in quanto vanno a zero molto meno rapidamente di una gaussiana[1] . Le funzioni di Slater tuttavia hanno il grave inconveniente (costoso anche dal punto di vista computazionale) che gli integrali devono essere risolti numericamente. Ciò in genere pone severe limitazioni sulle strutture trattabili (per esempio, ALCHEMY [5], il programma per funzioni di Slater contenuto in MOTECC-90 [6] può trattare solo molecole lineari), ma soprattutto rende i calcoli molto più pesanti nel confronto con l'uso di funzioni gaussiane.

Il metodo HF[2] è una approssimazione alla soluzione dell'equazione di Schrödinger, in cui la funzione d'onda è scritta come prodotto antisimmetrizzato di funzioni monoelettroniche, gli orbitali. E' il punto di partenza per una gerarchia di modelli, che hanno lo scopo di ottenere soluzioni dell'equazione di Schrödinger che siano quanto più accurate possibile.

Una approssimazione della meccanica quantistica drastica, ma molto attraente, fu suggerita da Thomas e Fermi (detta pertanto approssimazione di Thomas-Fermi (TF)), già nel 1927. In questa approssimazione non si considera la funzione d'onda, ma si cerca invece di lavorare soltanto con la densità elettronica, $\rho(r)$, che è molto più semplice, e per esprimere la dipendenza dell'energia E dalla sola ρ si scrive simbolicamente $E[\rho]$. L'approssimazione di TF non ebbe tuttavia un gran successo e non ha perciò giocato alcun ruolo cruciale nei primi sviluppi della chimica quantistica. In linea con l'idea di basare la trattazione sulla densità elettronica soltanto, Dirac suggerì di sostituire il pesante termine di scambio nelle equazioni di HF con un'espressione che dipendesse soltanto dalla densità. Questo portò all'approssimazione di Hartree-Fock-Dirac (HFD), che va nella direzione del modello TF, poiché così solo l'energia cinetica dipende esplicitamente dalla funzione d'onda, mentre tutti gli altri termini sono ottenuti dalla densità. Slater migliorò questo approccio con l'introduzione di un parametro α allo scopo di migliorare l'accordo con i dati sperimentali, sviluppando inoltre programmi per applicazioni generali. Tale metodo, che fu chiamato X_α, presentava tuttavia delle serie carenze, per cui in chimica quantistica (ma non nello stato solido) fu abbandonata l'idea di usare metodi basati sulla densità. Questa era la situazione quando Walter Kohn diede i suoi contributi.

I contributi di John Pople

Trent'anni fa gli studi di chimica quantistica erano guardati con sussiego da molti chimici, se non dalla maggior parte, che li consideravano un esercizio piuttosto futile di scarso o nessun effetto in chimica. La situazione attuale è completamente cambiata: c'è un indubbio riconoscimento dell'utilità e del grande potenziale della chimica quantistica. C'è anche un ampio consenso che questo risultato sia uno dei più importanti sviluppi in chimica nell'ultimo o negli ultimi due decenni. Nel gran numero di scienziati che hanno contribuito a questa affermazione, John Pople emerge come quello che ha dato i contributi più importanti e più decisivi. Pople è stato il mastro-costruttore, che ha reso possibile ai chimici l'uso di metodi quanto-chimici come quotidiani strumenti di lavoro, allo stesso modo della loro strumentazione sperimentale.

Durante gli anni Cinquanta, Pople ha dato importanti contributi allo sviluppo dei metodi semiempirici[3] in chimica quantistica. Egli fu uno degli inventori del metodo detto Pariser-Parr-Pople per studiare gli spettri elettronici di molecole organiche insature.

[1] Per riprodurre una funzione di Slater infatti occorrono più gaussiane: quelle con esponente molto elevato servono per simulare la cuspide e quelle con esponente molto piccolo le "code". Per quanto la base gaussiana abbia un numero di funzioni sensibilmente maggiore di una base di Slater "analoga", l'uso di formule analitiche nel calcolo degli integrali avvantaggia estremamente la gaussiana.

[2] Il metodo di Hartree-Fock consiste computazionalmente di due stadi principali. Gli orbitali molecolari sono espansi in un set di base composto di funzioni gaussiane centrate sugli atomi (secondo quanto proposto originariamente da Boys). In questa rappresentazione, l'equazione di Schrödinger monoelettronica è sostituita da un problema ad autovalori, che determina le energie orbitaliche ed i coefficienti di espansione. Gli elementi di matrice sono costituiti da integrali sulle funzioni di base che descrivono le differenti componenti dell'energia, quali l'energia cinetica, l'energia di attrazione elettrone-nucleo e l'energia di repulsione elettrone-elettrone. È il calcolo di questi integrali che assorbe le maggiori risorse computazionali. La diagonalizzazione della matrice di HF, che costituisce il secondo stadio, è un procedimento iterativo che deve essere continuato fino al raggiungimento di auto-consistenza (si usa in genere il termine ibrido *self*-consistenza anche in italiano), poiché gli elementi di matrice dipendono dagli orbitali molecolari stessi.

[3] I metodi semiempirici sono metodi quantomeccanici, in cui però non tutti gli integrali, di cui la teoria ha bisogno, vengono calcolati: molti sono stimati ricorrendo ad approssimazioni, compensate da parametri determinati empiricamente che assicurano una certa precisione.

In seguito estese questa teoria, che era limitata agli elettroni π, a tutti gli elettroni di valenza con il programma CNDO, che divenne molto popolare nella comunità chimica. All'inizio Pople non credeva che i metodi non-empirici (detti anche *ab initio*) potessero competere con quelli semiempirici, poiché riteneva che le risorse computazionali necessarie sarebbero state decisamente troppo elevate. Fu invece proprio lui che riuscì a modificare questa situazione.

Il maggior collo di bottiglia del metodo HF[2] era il calcolo degli integrali, in particolare di quelli di repulsione elettronica, che sono molti (dell'ordine di 10^6-10^9) e per di più esa-dimensionali. Pople inventò un approccio che riduceva i costi computazionali da uno a due ordini di grandezza, semplificando la descrizione con un'approssimazione che usa gli stessi esponenti orbitalici sia per i gusci *s* che per quelli *p*)[4] . Il risultato fu decisivo, poiché con questo miglioramento divenne possibile usare il metodo HF in applicazioni chimiche reali. Pople intuì che se il metodo doveva essere utilizzato su vasta scala doveva essere accuratamente progettato e calibrato. Costruì perciò insiemi di funzioni di base di qualità gradualmente crescente e le saggiò in una vasta varietà di sistemi. Questo fu l'inizio di ciò che avrebbe in seguito chiamato *theoretical model chemistry*, che potremmo tradurre con modellistica chimica teorica o chimica teorica dei modelli. Pople si rese conto che il calcolo della sola energia non è sufficiente per rendere lo strumento teorico di interesse generale in chimica.

La caratteristica più importante di una molecola è la sua struttura, cioè distanze ed angoli di legame, compresi quelli torsionali. La chimica quantistica deve essere in grado di determinare questa struttura se vuole poter avere una qualche influenza in chimica. La struttura di equilibrio di una molecola è la disposizione geometrica dei suoi atomi che produce l'energia più bassa (nella figura si mostra come l'energia di una molecola può variare in funzione dei suoi parametri geometrici). In teoria, deve essere quindi possibile minimizzare l'energia del sistema rispetto a variazioni nei parametri geometrici. Per far questo è necessaria non solo l'energia corrispondente ad una data geometria, ma anche le derivate dell'energia[5]. Pople intuì l'utilità dei metodi di minimizzazione che facevano uso di derivate e sviluppò dei procedimenti per il calcolo efficiente di tali derivate, basati su algoritmi già sviluppati da Peter Pulay. Questi metodi possono essere usati non solo per determinare strutture di equilibrio,

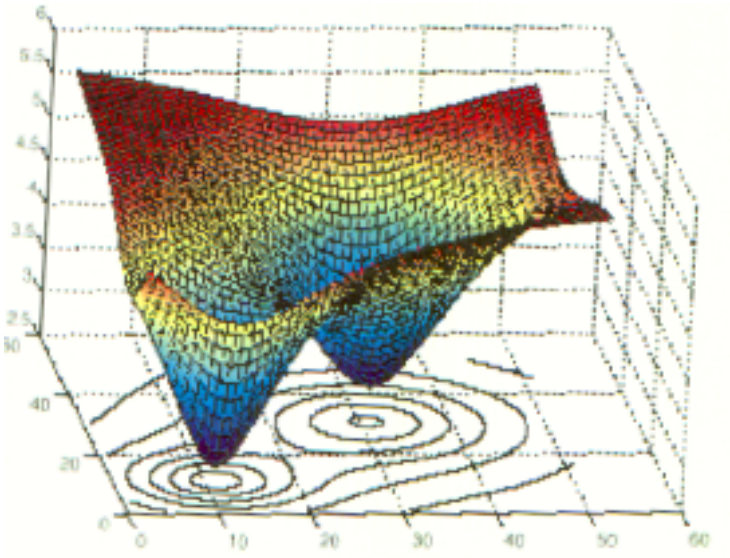


Fig. 1. Superficie di energia potenziale bidimensionale per una ipotetica reazione chimica da uno stato di equilibrio ad un altro passando per una barriera (stato di transizione)

[4] In questo consiste forse la principale differenza tra l'approccio pisano e quello di Pople: a Pisa si cercava di ottenere, sempre e "a qualunque costo", il risultato più preciso (per questo si utilizzavano le funzioni di Slater e si mantenevano distinti gli esponenti), mentre Pople cercava di velocizzare il più possibile i calcoli, magari a scapito della qualità immediata, ma permettendo in sostanza di fare studi più vasti, su di un maggior numero di sistemi ed in un tempo più breve.

[5] E' necessario almeno il gradiente, che si annulla nei punti stazionari, ma è preferibile avere anche le derivate seconde, che forniscono la curvatura della superficie e costituiscono l'Hessiano (così viene chiamata la matrice delle derivate seconde). Esistono dei metodi matematici per la ricerca del minimo di una funzione che non fanno uso delle derivate, quali il metodo del simplesso. Anche questo, se ci permettete la divagazione, è un esempio illuminante della diversa mentalità della scuola di chimica teorica di Pisa. Quando si cominciarono a studiare sistemi "reali" utilizzando IBMOL, un programma che faceva uso di funzioni gaussiane, la cui prima edizione era stata scritta nel 1965 da Enrico Clementi (allora all'IBM di San Josè, California), ci si rese conto che già per sistemi con un numero limitato di atomi, di poco superiore a tre, era impossibile effettuare efficacemente delle ottimizzazioni di geometria utilizzando il metodo artigianale di minimizzare un parametro per volta (si tracciava una parabola con quattro valori dell'energia), passando al successivo con i valori ottimali dei precedenti appena determinati. Infatti, la cosa richiedeva oltre ad un fiuto notevole sull'ordine da seguire nella scelta dei parametri anche una buona dose di fortuna. Spesso quindi bisognava ricominciare da capo, cambiando l'ordine. Per questo, durante lo studio di un meccanismo di reazione, uno di noi (G.A.), impegnato in questo lavoro abbastanza frustrante, aveva cercato in letteratura qualche metodo non troppo costoso ed automatizzabile per minimizzare una funzione, trovando il metodo del simplesso. Però la lentezza dei calcolatori dell'epoca (ci riferiamo ai primissimi anni Settanta) non permetteva di verificare l'adeguatezza del metodo con calcoli ab initio, per cui aveva pensato di interfacciare il programma di minimizzazione che aveva scritto sfruttando il metodo del simplesso, guarda caso, con il CNDO che, come abbiamo detto sopra, è un programma che utilizza un metodo semiempirico, molto meno costoso di quelli ab initio. I risultati ottenuti furono molto soddisfacenti per il giovane ricercatore, che pensò di pubblicare il lavoro relativo. Ciò gli fu impedito almeno fino a quando non fosse stato possibile utilizzare metodi ab initio. Qualche tempo dopo (1973-74) apparve in circolazione il GAUSSIAN70 (i tempi di calcolo però erano ancora proibitivi), poi con il GAUSSIAN80 le ottimizzazioni di geometria che facevano uso delle derivate prime: il lavoro sull'ottimizzazione con il simplesso non vide perciò mai la luce.

ma permettono anche di seguire il cammino che porta a reazioni chimiche, determinando la barriera energetica per la reazione, cioè lo stato di transizione. Diventa così possibile utilizzare i metodi teorici per studiare e spiegare cammini di reazione per le reazioni chimiche, uno sviluppo che è stato di massima importanza per l'applicazione degli strumenti quanto-meccanici in chimica. Pople ha raccolto tutti questi sviluppi nel corso degli anni all'interno di un programma di calcolo, il GAUSSIAN, che è stato distribuito gratuitamente alla comunità chimica per un certo numero di anni (attualmente è un prodotto commerciale). La prima edizione fu del 1970, anche se fu distribuita solo successivamente.

Il modello HF è sorprendentemente preciso, se si tiene conto del fatto che gli elettroni sono trattati come se si muovessero in maniera indipendente gli uni dagli altri. L'errore nell'energia totale è infatti inferiore all'uno per cento. Questo errore è detto energia di correlazione, poiché descrive la correlazione del moto elettronico che non è inclusa nel modello a particelle indipendenti. Pople si rese conto che era necessario includere metodi per calcolare l'energia di correlazione se la teoria doveva essere in grado di raggiungere la "precisione chimica" nella predizione delle energie relative (energie di legame, energie di attivazione, calori di reazione ed altre grandezze molecolari). Questo problema era stato oggetto di intensi studi nei primi anni Settanta. Pople però capì che era necessario sviluppare metodi di calcolo che fossero semplici da usare e che, se possibile, crescessero in modo non esponenziale con la grossezza del sistema. Non tutti i metodi tuttavia avevano queste caratteristiche. Decise perciò di usare la teoria delle perturbazioni e sviluppò metodi efficienti per calcolare l'energia di perturbazione fino al quarto ordine. Di particolare importanza per applicazioni su vasta scala era il semplice approccio al secondo ordine, per il quale furono sviluppate anche le derivate dell'energia. Tutto ciò venne introdotto nelle versioni successive del GAUSSIAN. Durante gli anni Ottanta egli diede ancora notevoli contributi con trattamenti correlativi persino più accurati, basati sull'espansione a cluster della funzione d'onda.

La creazione, il costante miglioramento, e l'estensione delle funzionalità del GAUSSIAN costituiscono un risultato di rilievo. E' un limpido esempio del successo della chimica quantistica e del suo impatto sulla chimica in generale e su altre scienze ad essa vicine, quali la fisica, l'astrofisica, la biochimica, la scienza dei materiali, ecc. Il GAUSSIAN è oggi usato da migliaia di scienziati in tutto il mondo ed ha contribuito a far diventare alla portata di tutti i ricercatori il calcolo e la previsione di proprietà molecolari.

La teoria del funzionale densità ed i contributi di Walter Kohn.

I metodi sviluppati da John Pople sono basati sull'equazione di Schrödinger e sono tutti tentativi di risolvere questa equazione con metodi approssimati che siano abbastanza precisi da dare risultati che possano essere usati per fare previsioni affidabili sulle proprietà dei sistemi molecolari. E' stato l'approccio dominante fino a circa dieci anni fa. Per capire i cambiamenti avvenuti in questo campo negli ultimi dieci anni dobbiamo tornare indietro di ben trentacinque anni. Nel 1964 Hohenberg e Kohn (P. Hohenberg, W. Kohn, *Phys. Rev. B* **136**, 864 (1964)) hanno dimostrato un teorema molto importante, che ha dato un fondamento teorico all'approccio di Thomas-Fermi, e poi di Slater, nella meccanica quantistica. Hanno dimostrato infatti che la densità elettronica esatta dello stato fondamentale specifica in modo univoco il potenziale monoelettronico di interazione nucleo-elettroni $v(r)$. Poiché l'energia cinetica degli elettroni e la loro interazione coulombiana hanno una forma indipendente dal sistema, si concluse che la densità dello stato fondamentale specifica il potenziale $v(r)$ e quindi l'Hamiltoniano del sistema, e con esso tutte le proprietà dello stato fondamentale. Oppure, per dirla nel modo usuale: essi hanno dimostrato l'esistenza di un funzionale $E[\rho]$, che dà l'esatta energia dello stato fondamentale per la densità esatta dello stato fondamentale. Essi hanno inoltre mostrato che il minimo di E è raggiunto per la densità esatta fornendo quindi un principio variazionale per determinare ρ e l'energia dello stato fondamentale. Quindi essi hanno dimostrato l'esistenza di una teoria esatta di Thomas-Fermi. In un secondo lavoro del 1965 (W. Kohn, L.J. Sham, *Phys. Rev. A* **140**, 1133 (1965)) Kohn e Sham hanno esteso i risultati e dimostrato l'esistenza di un esatto metodo di tipo HFD insieme con una procedura variazionale corrispondente utile per

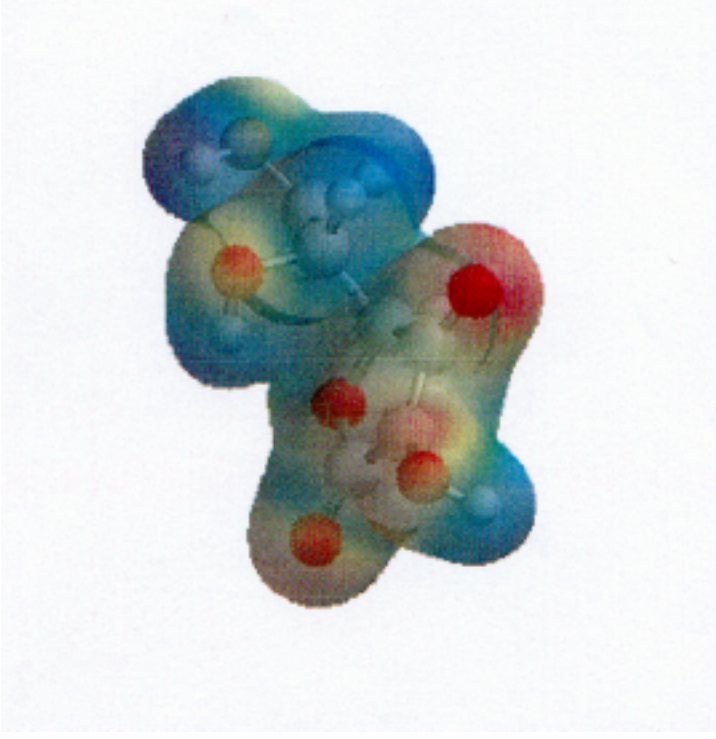


Fig. 2. Densità elettronica intorno alla molecola della vitamina C. I colori mostrano il potenziale elettrostatico con le zone negative in rosso e quelle positive in blu.

va quindi approntato uno schema computazionale per il calcolo, in linea di principio esatto, dell'energia e della densità dello stato fondamentale. Solo un problema rimaneva da risolvere: la forma del funzionale. La formulazione originale di Kohn e dei suoi collaboratori era basata su analogie con un gas omogeneo di elettroni. Tale formulazione funzionava bene nella teoria dello stato solido (un campo in cui tale approccio ebbe immediato successo), ma ebbe meno successo nelle applicazioni molecolari. Ci vollero da 20 a 25 anni prima che la forma del funzionale fosse abbastanza raffinata da rendere sensato lo sviluppo di tecniche computazionali per applicazioni su vasta scala in chimica. È stato il lavoro di molti scienziati (Salvetti, Langreth, Parr, Perdew, Becke, ed altri) che ha portato a questo passaggio.

Dal punto di vista computazionale importanti contributi sono stati dati da J. Pople, e nel 1992 l'approccio del funzionale densità è stato implementato in GAUSSIAN. Il DFT è oggi uno dei metodi più frequentemente usati in chimica quantistica. È più semplice dei metodi più avanzati basati sulle funzioni d'onda e può quindi essere applicato a molecole più grosse. Oggi è possibile trattare sistemi con parecchie centinaia di atomi. La precisione è nella maggior parte dei casi sufficientemente alta, anche se sono note eccezioni in cui l'approccio DFT funziona meno bene. Il funzionale è per sua natura approssimato (il funzionale esatto sarebbe l'equazione di Schrödinger stessa) e differenti forme di funzionale possono portare a risultati lievemente diversi. Ciò ha portato allo sviluppo di funzionali empirici in cui i parametri sono aggiustati in modo da dare risultati buoni quanto più è possibile per un dato gruppo di quantità osservabili (normalmente le energie di legame). Il DFT ha provocato una seconda rivoluzione in chimica quantistica, che non sarebbe stata possibile senza il lavoro pionieristico di Walter Kohn.

Bibliografia

[1] G. Alagona, C. Ghio,*CnS* **20**, 69-77 (1998).
[2] C.C.J. Roothaan, *Rev. Mod. Phys.* **23**,69 (1951).
[3] S.F. Boys, *Proc. R. Soc. (London) A* **200**, 542 (1950).
[4] C. Guidotti, M. Maestro, O. Salvetti, *Ric. Sci.***8**, 3 (1965).
[5] A.D. McLean in *"Proceedings of the Conference on Potential Energy Surfaces in Chemistry"*, W.A. Lester, Ed., IBM Research Report RA-18, 1971.
[6] E. Clementi, Ed., *"Modern Techniques in Computational Chemistry: MOTECC-90"*, ESCOM, Leiden, 1990.

Chimica e poesia

Il nostro Direttore, Pasquale Fetto ed io abbiamo confezionato il secondo "cartiglio" con le poesie di Roberto Soldà.
Non finiamo mai di stupirci del fatto che a partire da parole apparentemente aride, quali sono i termini chimici, si possano costruire immagini ed evocare atmosfere così intensamente emotive. È come aprire uno spiraglio sulla fucina che opera in fondo al nostro subconscio.
Continuo ad essere convinto che si tratta dello stesso luogo da dove scaturiscono anche le invenzioni e le scoperte scientifiche. Vuoi vedere, mi sono detto, che, come ha ipotizzato Hadamard, la matrice estetica gioca un ruolo fondamentale anche nella scelta delle ipotesi scientifiche?
In attesa di sciogliere il dubbio v'invito a leggere queste due poesie dell'amico Soldà.

Ermanno Niccoli

I versi di Roberto Soldà

IL FERRICO SI RIDUCE

Nubi orlate di rosa,
si frange il cielo.
Celeste si diffonde un velo:
L'emozione con l'alba si sposa.
All'orizzonte il ferrico si riduce,
s'annichila la ruggine:
blù appare di rame un'immagine.
Contro lo scarlatto traluce.
Solitario il sole stasera,
tra i rami del salice,
quale passero felice,
rosa crea un'atmosfera.
Un prisma è la terra!

STATO DI TRANSIZIONE

Energia di attivazione,
complesso attivato.
Valica la collina ,
giungi allo stato di
transizione prima:
prima che il buio
oscuri la valle.
Rincorri il sogno
della vita eterna.
Lo stato di transizione
esiste,pur se sfuggente.
Fulgida luce riverbera
nello specchio:atomi
d'oro splendente
arcobalenano il ricordo
di cieli frementi.

L'OZONO:
Protettore o inquinante? *

DAVID PHILLIPS(*)

* Riprodotto per cortese concessione di *Education in Chemistry.* Traduzione di P. Mirone.

L'ozono è un esempio dei paradossi che si incontrano spesso nelle scienze: mentre esso è un 'protettore' essenziale della vita in una parte dell'atmosfera (la stratosfera), in un'altra regione (la troposfera) è un pericoloso inquinante.

La parola 'atmosfera' può avere differenti significati per differenti persone [1]. Per un poeta può essere soltanto un ambiente in cui osservare tramonti; per un meteorologo essa è un 'pozzo' in cui l'energia solare si trasforma dando origine ai fenomeni climatici; per un astronomo è una spiacevole necessità; per un biologo un sistema che sostiene la vita. Per il chimico invece l'atmosfera è un grandioso reattore chimico in cui avvengono reazioni, prevalentemente in fase gassosa e spesso di natura fotochimica, che formano o distruggono sostanze di enorme importanza e interesse.

Chimica dell'atmosfera

Per capire la chimica dell'atmosfera bisogna sapere qualcosa su ciò che determina la velocità delle reazioni chimiche. Al livello più semplice, la velocità v di una reazione termica (cioè non fotochimica) fra la specie A e la specie B è data da:

$$v = k\,[A]\,[B]$$

dove k è la costante di velocità e [A] e [B] sono le concentrazioni delle corrispondenti molecole. Per una reazione fotochimica tra A e B l'espressione della velocità è simile, a parte il fatto che la costante di velocità k è sostituita da una costante j . Per la maggior parte le reazioni fotochimiche sono decomposizioni del primo ordine, per le quali la velocità di reazione è:

$$v = j\,[A].$$

Mentre k è costante a una data temperatura, ma dipende da questa aumentando generalmente al suo crescere, j ha una forma complessa che si ricava dalla legge di Beer-Lambert per l'assorbimento della luce. Per piccole assorbanze l'espressione della velocità ha la forma:

$$v = \varepsilon\, I_0\,[A]\, L\, \Phi$$

dove ε è il coefficiente di assorbimento, I_0 l'intensità della luce incidente, L lo spessore di gas attraversato e Φ la frazione di molecole che reagiscono dopo aver assorbito luce, cioè la cosiddetta resa quantica. Poiché le molecole assorbono soltanto alcune delle lunghezze d'onda emesse dal sole, per poter applicare questa equazione all'atmosfera è necessario conoscere la distribuzione dell'intensità della luce solare in funzione della lunghezza d'onda. L'intensità della luce solare dipende anche dalla posizione geografica e varia durante il giorno, annullandosi di notte. L'angolo zenitale della radiazione solare - cioè l'altezza del sole nel cielo - influisce sulla lunghezza del cammino ottico. Infine è necessario conoscere i coefficienti di assorbimento delle molecole interessate e la loro dipendenza dalla temperatura.

Dunque j varia con l'ora del giorno, l'altitudine, la stagione, e in realtà non è una 'costante'. Tuttavia, grazie alla misura in laboratorio delle velocità di un gran numero di reazioni termiche e fotochimiche e alla conoscenza dei dati sulla radiazione solare, gli scienziati sono in grado di 'computare' la chimica dell'atmosfera. Anche se questo compito è reso più difficile dai fenomeni di trasporto di materiale, la grande quantità di lavoro fatto negli ultimi trent'anni e la crescente sofisticazione delle misure atmosferiche, congiuntamente alla velocità e capacità dei calcolatori, hanno permesso di raggiungere le seguenti sicure conclusioni.

• In vicinanza della terra l'atmosfera è composta di due parti - l'inferiore è la troposfera in cui noi viviamo, la superiore è la stratosfera, e le due parti sono separate dalla tropopausa. Queste suddivisioni non sono motivate da un cambiamento sensibile della composizione chimica dell'atmosfera né da una brusca variazione di pressione, ma dal fatto che il profilo della temperatura cambia nettamente in corrispondenza della tropopausa.

• A partire dalla superficie della terra, la temperatura diminuisce al crescere dell'altitudine. Ma alla tropopausa, dove la temperatura è circa -80°C, la direzione del cambiamento si inverte. Procedendo nella stratosfera la temperatura aumenta, fino a raggiungere il valore di 30°C o più al bordo superiore della stratosfera. In corrispondenza alla tropopausa si ha una inversione globale di temperatura, con il fluido freddo imprigionato sotto il fluido caldo al contrario di quella che

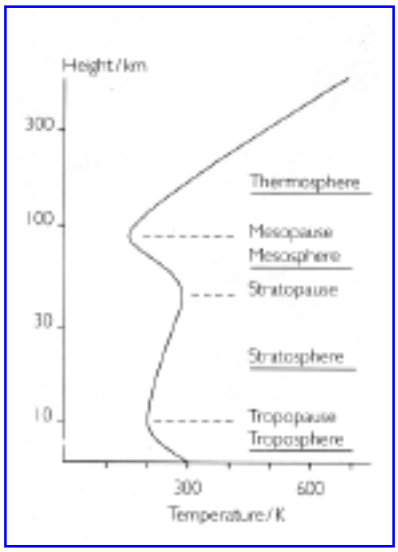


Fig. 1. Profilo della temperatura dell'atmosfera
(Altezza/km - Termosfera - Mesopausa Mesosfera - Stratopausa - Stratosfera - Tropopausa - Troposfera - Temperatura/K)

(*) Department of Chemistry, Imperial College of Science, Technology and Medicine, South Kensington, London SW7 2AZ

è la situazione normale (Fig. 1) [2].
• La conseguenza della inversione di temperatura è che la tropopausa agisce come una 'pellicola' attraverso la quale le molecole passano con difficoltà. Il tempo necessario per la diffusione dalla troposfera alla stratosfera è dell'ordine di 10 anni, così che le due parti dell'atmosfera possono essere considerate indipendentemente l'una dall'altra.

L'ozono stratosferico

I primi studiosi del'atmosfera si trovarono di fronte a due questioni fondamentali: Che cosa riscalda la stratosfera? Quale specie chimica nell'atmosfera assorbe la luce solare in modo di dare il caratteristico *cut-off* ultravioletto a circa 290 nm?
Nel 1880 Hartley stabilì che l'assorbimento caratteristico della forma trimera dell'ossigeno, cioè l'ozono O_3, corrispondeva a quello che avrebbe dovuto possedere la specie assorbente, e circa 40 anni più tardi Sidney Chapman [3] mostrò come l'ozono potesse essere creato e distrutto da alcune reazioni atmosferiche molto semplici (Schema 1).

Schema 1. Ciclo di Chapman per le reazioni dell'ossigeno nella stratosfera (M = molecola, in prevalenza N_2 e O_2)

$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O \qquad (a)$$

$$O + O + M \rightarrow O_2 + M\ (\Delta H = -493\ kJ\ mol^{-1}) \qquad (b)$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M\ (\Delta H = -100\ kJ\ mol^{-1}) \qquad (c)$$

$$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O \qquad (d)$$

$$O + O_3 \rightarrow 2O_2\ (\Delta H = -390\ kJ\ mol^{-1}) \qquad (e)$$

In realtà solo quattro delle cinque reazioni del ciclo di Chapman sono importanti, poiché la ricombinazione degli atomi di ossigeno (reazione (b)) è molto lenta, essendo una reazione trimolecolare e implicando due atomi di ossigeno presenti in quantità estremamente bassa. Le reazioni dello Schema 1 spiegano in larga misura anche l'origine della sorgente di calore nell'atmosfera - l'energia assorbita dalle reazioni (a) e (d) è convertita in energia termica (calore) nel corso del ciclo - e la presenza di uno strato di ozono nella stratosfera, all'altitudine di circa 20 km, anche se questo dipende fortemente dalla stagione e dalla posizione geografica.
Lo strato di ozono esercita una funzione vitale impedendo alla radiazione UVB proveniente dal sole di raggiungere la superficie della terra. Questa radiazione è potenzialmente nociva alla vita, all'agricoltura, alla pesca ecc. Mediante tecniche di modellizzazione, determinazioni di costanti cinetiche in laboratorio e misure di parametri atmosferici si è trovato che le reazioni che coinvolgono soltanto l'ossigeno produrrebbero una quantità di ozono circa cinque volte maggiore di quella che si trova effettivamente nell'atmosfera. Perciò devono avvenire altre reazioni che riducono l'ozono, ed ora si sa che queste sono reazioni a catena implicanti ossidi di idrogeno, azoto e cloro che hanno un'azione catalitica (Schema 2) [4].

Schema 2. Cicli catalitici responsabili della diminuzione dell'ozono

NO_x

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (f)$$
$$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2 \qquad (g)$$

Globale

$$O + O_3 \rightarrow 2O_2 \qquad (h)$$

HO_x

$$OH + O_3 \rightarrow HO_2 + O_2 \qquad (i)$$
$$O + HO_2 \rightarrow OH + O_2 \qquad (j)$$

Globale

$$O + O_3 \rightarrow 2O_2 \qquad (k)$$

ClO_x

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2 \qquad (l)$$
$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2 \qquad (m)$$

Globale

$$O + O_3 \rightarrow 2O_2 \qquad (n)$$

Tutte le specie chimiche mostrate nello Schema 2 sono presenti in un'atmosfera naturale, cioè non inquinata, ma fin dai primi anni 70 gli scienziati hanno cominciato a porsi il problema dei possibili cambiamenti dello strato di ozono dovuti all'uomo attraverso le esplosioni nucleari, il traffico aereo ad alta quota e i rilasci di clorofluorocarburi (CFC).
Questi si sono dimostrati il fattore più preoccupante. I CFC sono notevolmente stabili nella troposfera in quanto resistono all'attacco del radicale idrossile [5], e sopravvivono così a lungo da riuscire a raggiungere attraverso la tropopausa la stratosfera. Qui la radiazione ultravioletta li fotolizza producendo per ogni molecola un radicale e un atomo di cloro. Quest'ultimo innesca delle reazioni a catena che distruggono l'ozono.
Fino al 1987 le emissioni di CFC nella troposfera erano elevate (maggiori di 1,5 milioni di tonnellate per anno), e la lunghezza delle catene delle corrispondenti reazioni era grande, cioè dell'ordine di 100.000. Una ulteriore prova che i livelli di ozono subivano una massiccia diminuzione su base annuale venne dalle osservazioni di ricercatori del British Antarctic Survey, che trovarono chiare prove di un esaurimento quasi totale dell'ozono in ogni primavera antartica dal 1983 in poi. Tale esaurimento si è ora diffuso geograficamente, fino a includere la parte più meridionale del Sud America. La perdita di ozono è correlata con l'intensità delle emissioni di CFC, e può essere modellizzata sulla base di certe reazioni eterogenee che avvengono alla superficie di cristalli di ghiaccio stratosferici peculiari della regione antartica (Schema 3) [2,6].

Schema 3. Sommario delle reazioni che provocano la diminuzione dell'ozono sull'Antartico

$$Cl + CH_4 \rightarrow HCl + CH_3$$
$$ClO + NO_2 \rightarrow ClONO_3$$

Sulla superficie delle nuvole

$$ClONO_2 + HCl \rightarrow Cl_2 + HNO_3$$

In primavera

$$Cl_2 + h\nu \rightarrow Cl + Cl$$
$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

Ma $ClO + O \rightarrow Cl + O_2$ non può avvenire

e così $ClO + ClO \rightarrow (ClO)_2$
$(ClO) + h\nu \rightarrow Cl + Cl + O_2$

Queste ricerche portarono al Protocollo di Montreal del 1987, con il quale molti stati si accordarono per ridurre la produzione e l'uso di CFC e per cercare alternative meno dannose. Tuttavia il ritorno della concentrazione dell'ozono stratosferico a livelli pre-CFC grazie alle misure di riduzione delle emissioni di clorofluorocarburi può richiedere diversi decenni.

La troposfera

Mentre l'ozono svolge una importante funzione nella stratosfera, un'altra specie chimica ossidante, il radicale idrossile OH, gioca un ruolo impor-

tante nella troposfera. Idrocarburi come il metano, un componente naturale dell'atmosfera prodotto dalle paludi e dagli animali, specialmente bovini, ovini e termiti, vengono ossidati efficacemente dal radicale idrossile.

Mentre l'alta atmosfera è di solito studiata globalmente in considerazione dei rapidi processi di trasporto orizzontale nella stratosfera, la troposfera è normalmente studiata a un livello molto più locale. 'Inquinanti' come vapor d'acqua, diossido di carbonio, diossido di zolfo e ossidi d'azoto prodotti dalla combustione di combustibili fossili vengono introdotti in grandi quantità e possono accumularsi nella troposfera, provocando cambiamenti sensibili, ma generalmente a breve termine, dell'atmosfera 'normale'.

Il vapor d'acqua è innocuo, nel senso che la quantità globale di acqua nell'atmosfera è determinata dall'evaporazione dagli oceani e quindi dalla temperatura globale. Sul diossido di carbonio non c'è molto da dire in questa sede; i timori di alcuni, che l'aumento del 10% della concentrazione atmosferica del diossido di carbonio possa portare a un riscaldamento globale attraverso l'effetto serra, tuttora non sono stati giustificati del tutto scientificamente, ma faremmo bene ad essere prudenti. In ogni caso, il vapor d'acqua è un importante 'gas serra', e se la temperatura della terra aumenta la crescente quantità di vapor d'acqua darà un ulteriore contributo al riscaldamento.

La chimica dello zolfo è più complessa. Inizialmente lo zolfo contenuto nei combustibili viene ossidato a diossido di zolfo. Questo, attraverso reazioni eterogenee e omogenee, si trasforma in triossido di zolfo, che reagisce con l'acqua delle gocce di pioggia o dei cristalli di neve formando acido solforico. Questa 'pioggia acida' può avere effetti dannosi sull'ambiente, ma il problema può essere facilmente risolto rimuovendo lo zolfo dai combustibili e 'lavando' i fumi, anche se quest'ultima operazione è costosa.

Se i combustibili non bruciano completamente la combustione produce particelle solide, cioè fuliggine. Tra il 5 e l'8 dicembre 1952 si verificò a Londra un'inversione di temperatura locale che intrappolò nella parte più bassa dell'atmosfera i fumi prodotti dalla combustione del carbone. Circa 4000 persone morirono per aver inalato particelle di fuliggine coperte di acido solforico. Questo disastro portò all'emanazione di una legge (Clean Air Act), grazie alla quale ora nel Regno Unito si respira un'aria molto più pulita, almeno per quanto riguarda il particolato.

Gli ossidi di azoto che si formano nelle combustioni possono produrre acido nitrico, che contribuisce anch'esso all'acidità della pioggia. Gli ossidi di azoto emessi nella troposfera dai veicoli a motore provocano una forma di inquinamento locale nota come smog fotochimico, osservata per la prima volta a Los Angeles in California ma ora divenuta un problema per molte città in ogni parte del mondo. La sequenza degli eventi è ben conosciuta: l'ossido nitrico NO, emesso come inquinante primario dai motori a scoppio, è ossidato attraverso reazioni complesse a diossido di azoto. Questo gas di colore bruno assorbe la luce visibile del sole, decomponendosi fotochimicamente con formazione di ossido nitrico e ossigeno atomico. Questo si combina con l'ossigeno molecolare formando ozono. Malgrado il suo ruolo benefico nella stratosfera, l'ozono è una specie ossidante altamente reattiva che attacca gli idrocarburi, presenti anch'essi come inquinanti primari nella forma di combustibile incombusto, dando aldeidi, nitrati e nitriti di alchile, perossialchilnitrati e altri inquinanti secondari sotto forma di aerosol. Questo diffonde la luce, dando all'atmosfera un aspetto brunastro (Schema 4) [1,2,4].

marce dell'H_2S è oggi un esperienza comune nelle strade urbane quando passano delle automobili avviate a freddo. Poiché l'H_2S è estremamente tossico, è piuttosto sorprendente che questa emissione sia consentita - nell'aria l'H_2S è nuovamente ossidato a diossido di zolfo, che contribuisce ulteriormente alle deposizioni acide.

In considerazione delle attuali proccupazioni per l'eccessivo accumulo di diossido di carbonio nell'atmosfera, i combustibili del futuro dovrebbero produrre meno CO_2 di quelli di oggi. Il Regno Unito ha ridotto i suoi livelli di emissione di diossido di carbonio principalmente passando da combustibili ricchi di carbonio, come il carbon fossile, al metano nella cui combustione una parte notevole dell'energia prodotta proviene dall'ossidazione ad acqua dell'idrogeno contenuto nel combustibile. A mano a mano che i combustibili fossili si esauriranno, è probabile che adotteremo l'idrogeno come combustibile 'pulito' definitivo, magari ricorrendo alla combustione catalitica per la locomozione e alle celle a combustibile per la produzione di energia. L'unica sorgente praticabile di idrogeno è la luce solare, che un giorno potrebbe rifornire il mondo di energia gratuita.

Il presente articolo è basato sulla conferenza tenuta nel 1998 da David Phillips nell'occasione in cui gli fu conferito il premio Michael Faraday della Royal Society.

Schema 4. Chimica dello 'smog fotochimico'

Troposfera

$$N_2 + O_2 \rightarrow NO \quad \text{(nei cilindri dei motori a scoppio)}$$
$$NO \rightarrow NO_2 \quad \text{(meccanismo complesso)}$$
$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O \quad \text{(fotodissociazione)}$$
$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \quad \text{(produzione di ozono)}$$
$$O_3 + \text{idrocarburi} \rightarrow \text{inquinanti secondari, per esempio alchilnitriti, alchilnitrati, perossialchilnitrati}$$

Lo smog fotochimico può essere eliminato o ridotto con l'uso di catalizzatori nelle marmitte di scappamento. Questi catalizzatori, a base di metalli preziosi, riducono gli ossidi di azoto ad azoto elementare, ma contemporaneamente riducono il diossido di zolfo a solfuro di idrogeno H_2S. Poiché i catalizzatori a base di metalli preziosi sono avvelenati dal piombo, per consentirne l'uso fu creata la benzina esente da piombo. Tuttavia la caratteristica puzza di uova

Bibliografia

[1] M.J. McEwan e L.F. Phillips, *Chemistry of the atmosphere*. Edward Arnold, Londra 1975, p. 1.

[2] R.P. Wayne, *Chemistry of atmospheres*. Oxford Science, Oxford 1991.

[3] S. Chapman, *Mem. Roy. Meteorol. Soc.*,1930, **3**, 103.

[4] Vedi per esempio: D. Phillips, *Proc. Roy. Inst.*, 1982, **54**, 167.

[5] M.J. Molina e F.S. Rowland, *Nature*, 1974, **249**, 810.

[6] M.J. Molina *et al.*, *Science*, 1987, **238**, 1235.

COSTRUZIONI DI MAPPE CONCETTUALI IN CHIMICA ORGANICA

Stimolazione e controllo dei processi di apprendimento

AMEDEO MEI (*)

Riassunto

La costruzione e la successiva discussione e rielaborazione di mappe nella propria disciplina consentono all'insegnante di avere un quadro completo delle informazioni acquisite dallo studente e quindi di poter intervenire in caso di misconcetti o concetti mal collegati o addirittura sconosciuti. L'apprendimento risulta molto più efficace, attivo, creativo e divertente perché la realizzazione di tali mappe rende gli studenti autori e, nello stesso tempo, protagonisti attivi della propria conoscenza.

Summary

The carrying out and following discussion and reworking of one's own conceptual maps, give the teacher the possibility to have a whole summary of the information grasped by the student and so to intervene in case of misconceptions, misleading or unknown concepts. The realization of such maps make students authors and at the same time, active protagonists of their knowledge, thus reaching a much more effective, active, amusing and creative learning.

Introduzione

Negli ultimi anni su riviste nazionali e internazionali sono apparsi diversi articoli riguardanti metodologie didattiche quali problem solving, mappe concettuali e apprendimento cooperativo. Particolare attenzione è stata dedicata all'utilizzo di mappe concettuali in chimica [1,2,3,4,5,7] a partire da quanto elaborato da Novak [6].

La rappresentazione delle conoscenze espresse in questo modo permette di visualizzare la natura dei concetti, i loro collegamenti e la loro importanza in maniera "grafica"; quindi, trasformare quello che ciascuno di noi possiede in una mappa significa rappresentare graficamente le relazioni esistenti tra idee e concetti, basandosi sulla propria organizzazione della conoscenza.

Una mappa permette di controllare in che modo le numerose informazioni acquisite da uno studente durante il processo di apprendimento vengono catalogate, e se vengono correlate tra loro e con quelle già in suo possesso. Quindi le mappe non raffigurano un scatola in cui vengono accatastate le informazioni in maniera casuale, ma come queste sono inserite e collegate in maniera dinamica con quelle già presenti.

Le mappe permettono un apprendimento attivo e creativo, e non passivo o meccanico, in quanto sono gli stessi studenti protagonisti e autori della produzione grafica di tali mappe.

Una mappa va concepita con grande chiarezza, non come "disegno", ma come il tentativo di arrivare alla rappresentazione di un ragionamento; e per questo occorre prestare attenzione al suo utilizzo per non renderla simile agli schemi a blocchi o ai diagrammi di flusso. La mappa è un tentativo di rappresentazione dinamica del ragionare e non un disegno statico di tale processo [7].

Mappe concettuali

In questo contributo sono riportate alcune delle mappe concettuali realizzate dagli studenti durante lo studio della chimica organica. Il lavoro è stato articolato in più fasi, nell'arco di un anno scolastico:

a. Presentazione e realizzazione di semplici mappe;

b. Costruzione di mappe concettuali partendo da un concetto assegnato;

c. Aggiornamento delle mappe già costruite, inserendo concetti e cercando collegamenti trasversali, in base alle nuove conoscenze acquisite.

Introduzione all'uso delle mappe

La presentazione del metodo di lavoro è stata fatta attraverso la Figura 1, nella quale vengono messi in evidenza:

a. i concetti, individuati con parole-concetto inserite in linee chiuse di forma diversa (ovali, quadrati, rettangoli, cerchi). In ciascuna figura geometrica va posto un solo concetto (il quale può anche essere formato da più parole) che in genere non può essere ripetuto nella stessa mappa;

b. i collegamenti, tratti rettilinei o curvi, (interi o tratteggiati) che uniscono fra loro i concetti. Essi vengono etichettati per mezzo di parole-legame posizionate sulle linee; per meglio seguire la direzione dei collegamenti si può inserire alla fine di essi una freccia.

All'inizio gli studenti si sono allenati nella costruzione di semplici mappe con gli opportuni simboli grafici e ciò ha richiesto circa un mese di tempo.

(*) ITIS "E. Mattei" - Urbino
e-mail meo@abanet.it

A tale scopo ho utilizzato la scheda elaborata da F. Olmi [8] nella quale viene riportato un elenco di concetti (banco, sostanza, terra, trasformazione, roccia, sale da cucina, miscugli, composti, elementi, deformazione di una lattina, fisica, chimica, corpo materiale, decolorazione del tè, rottura del gesso, ferro, oro, solfato di calcio, legno che brucia) che bisogna cercare di collegare tra loro secondo le conoscenze già acquisite.

A titolo di esempio, vengono riportate le mappe (figura 2,3,4) costruite da tre studenti. Come si puo osservare tutti i concetti richiesti sono presenti (solo qualche studente non è riuscito a inserire tutti i concetti elencati) e, anche se i collegamenti non risultano sempre corretti, le mappe concordano abbastanza tra loro.

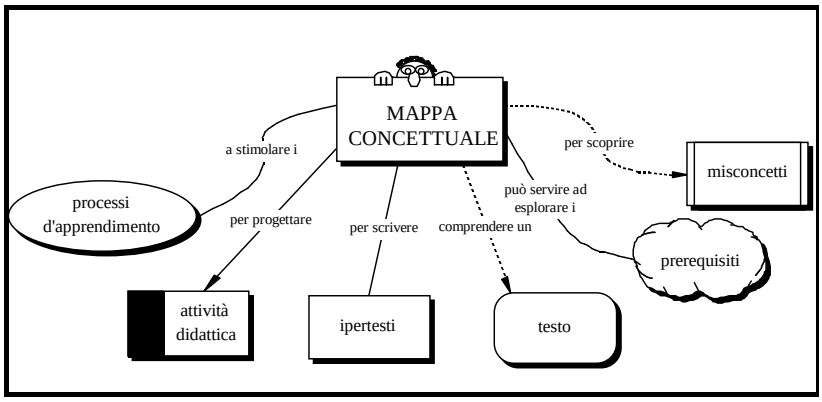


Fig. 1

Dal loro esame emerge che le mappe hanno una gerarchia propria nella quale il concetto più generale, o per meglio dire più "inclusivo" contiene i concetti di livello inferiore più "specifici" ad esso collegati. Insomma, i concetti di ordine più elevato saranno quelli che, nella rappresentazione cognitiva dello studente, sono da lui considerati più importanti o meglio compresi.

La stessa mappa può essere organizzata in modi diversi: infatti ad uno stesso concetto può essere assegnata una diversa posizione gerarchica, a seconda del punto di vista assunto; per esempio nelle figure 2 e 3, viene chiaramente privilegiato il concetto di corpo materiale mentre in figura 4 si privilegia il concetto di trasformazione.

Ho inoltre precisato che per meglio visualizzare la gerarchia dei concetti si potevano utilizzare delle figure geometriche diverse e infine che si potevano effettuare collegamenti trasversali anche tra concetti distanti tra loro.

Costruzione delle mappe concettuali

In questo articolo vengono riportate alcune delle mappe (figure 5,6,7,8,9,10) elaborate dagli studenti durante l'anno scolastico; le mappe sono stata realizzate partendo da un concetto chiave scelto dal docente ed utilizzando la seguente traccia:

Le mappe figurano il risultato della discussione che si è sviluppata nella

a. Cercare le parole-concetto che si conoscono sull'argomento da mappare (brainstorming);

b. Collegare tali parole secondo la loro gerarchia utilizzando parole-legame

c. Vedere se esistono dei collegamenti trasversali.

Le mappe riportate vanno viste all'interno della disciplina di chimica organica e rappresentano il risultato finale del processo di apprendimento, e non il modo in cui esso si è articolato nella classe, in quanto è durante la discussione tra studenti e insegnante che avviene la visualizzazione della conoscenze. In questa fase, l'attenzione degli studenti è sempre al massimo e quindi il progetto di evocazione (cioè trovare il significato dell'informazione per memorizzarlo) risulta realizzabile.

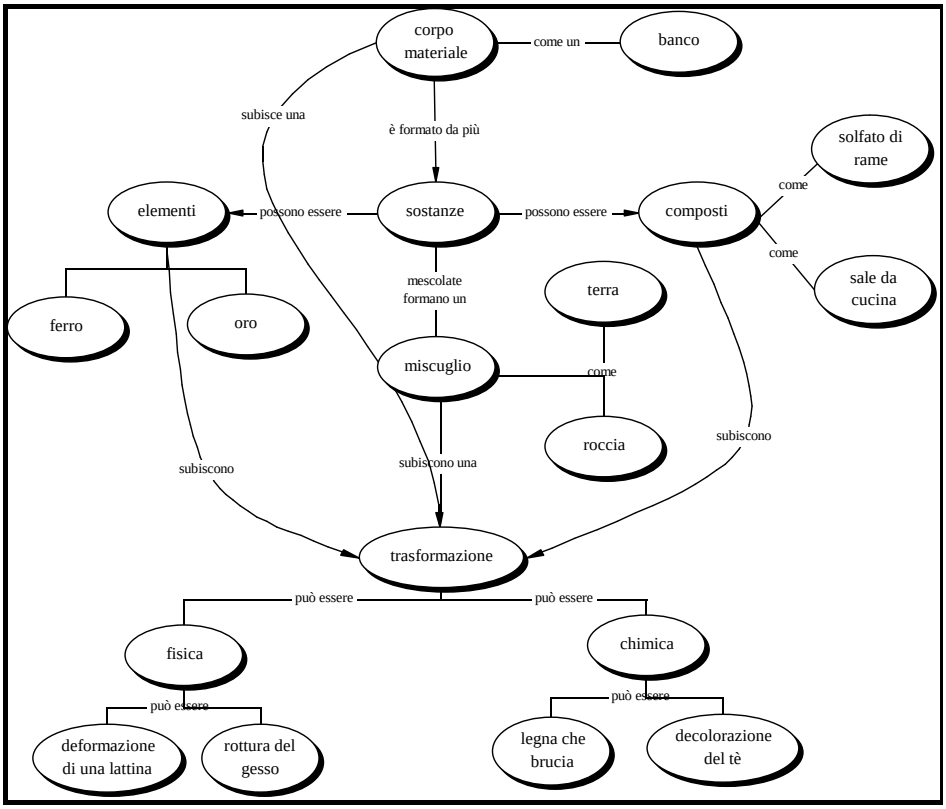


Fig. 2

classe, toccando i vari concetti, discutendone la giusta gerarchia, correggendo misconcetti e collegamenti sbagliati: infatti, una mappa concettuale si realizza attraverso un'attività collettiva e non di un singolo individuo.
E' fondamentale che il docente non solo intervenga alla fine della mappa, ma che osservi il processo di costruzione, guidando gli studenti che si trovano in difficoltà, insistendo soprattutto su una scelta individuale, ma sempre entro certi limiti, dei concetti più importanti per evitare che la mappa venga considerata un ostacolo piuttosto che un aiuto.
La mappa consente di verificare, in tempi brevi, la correttezza, la completezza e l'organizzazione delle informazioni in possesso dello studente; in altre parole, essa permette di verificare se lo studente ha acquisito tutti i principali concetti e se ne propone una sintesi corretta.
Qualora manchi un concetto, oppure siano presenti concetti caratterizzati o collegati in modo erroneo, il docente può individuare con facilità e rapidità le lacune nell'informazione. Si può anche evidenziare se lo studente abbia acquisito adeguate capacità di sintesi; infatti, ogni figura geometrica deve contenere una breve caratterizzazione del concetto, al massimo tre o quattro parole e non intere argomentazioni dove compaiono più concetti.
Il tempo necessario per la costruzione di una mappa è risultato abbastanza contenuto in quanto la bozza iniziale era fatta a casa, mentre la discussione in classe ha richiesto dalle due alle tre ore di tempo, in base alla complessità dell'argomento.
La realizzazione delle mappe è stata fatta utilizzando il programma Inspiration 5.0 che, fra i software che ho provato, mi è sembrato quello più adatto e semplice da usare. Credo sia utile promuovere la diffusione e fornire informazioni su come reperire i diversi tipi di software[1] in quanto i programmi per l'elaborazione di mappe concettuali sono tra le risorse più interessanti sia per l'impiego delle nuove tecnologie nella scuola, sia per la costruzione di percorsi formativi innovativi [9,10].

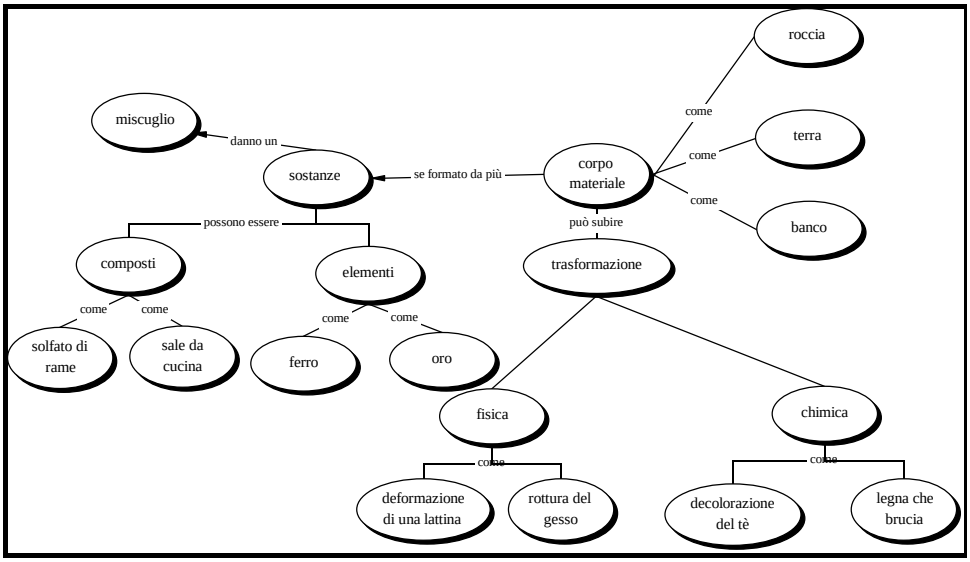


Fig. 3

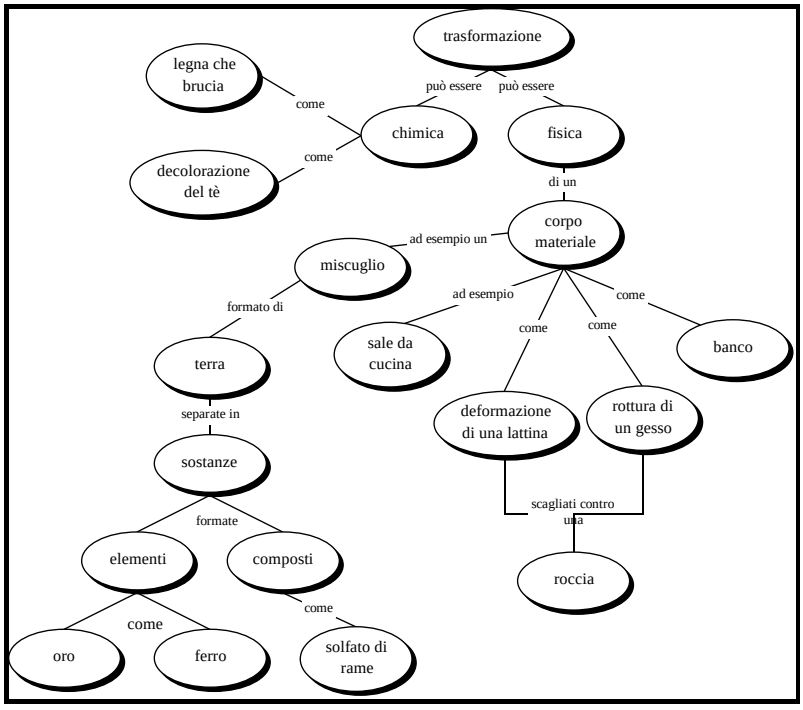


Fig. 4

[1] Vengono indicati alcuni tra i migliori software con gli indirizzi delle pagine web che ho potuto provare reperendoli su Internet:
MindManager (www.mindman.com); Activity-Map (www.time.system.com); The Brain (www.thebrain.com); Smart idea (www.smarttech.com); Decision Explorer (www.banxia. com); Inspiration (www.inspiration.com).

La figura 5 rappresenta la prima mappa realizzata dagli studenti su alcani e cicloalcani; tutti i concetti trattati sono stati inseriti con le corrette parole-legame e con la giusta gerarchia, utilizzando forme geometriche diverse; da notare che sono stati introdotti dei concetti non discussi in questa unità, ma in unità precedenti, che sono presenti alcuni collegamenti trasversali insieme a figure ed esempi per meglio rafforzare l'aspetto grafico ed iconico di tali mappe.
La figura 6 visualizza la classificazione dei gruppi funzionali; la sua realizzazione è stata più laboriosa e ha richiesto più tempo del previsto in quanto, secondo gli studenti, era più facile imparare a memoria i gruppi funzionali che attivare dei meccanismi per evocarli, anche se ciò portava inevitabilmente a dimenticarseli dopo breve tempo. Infine sono riusciti a costruire una mappa sfruttan-

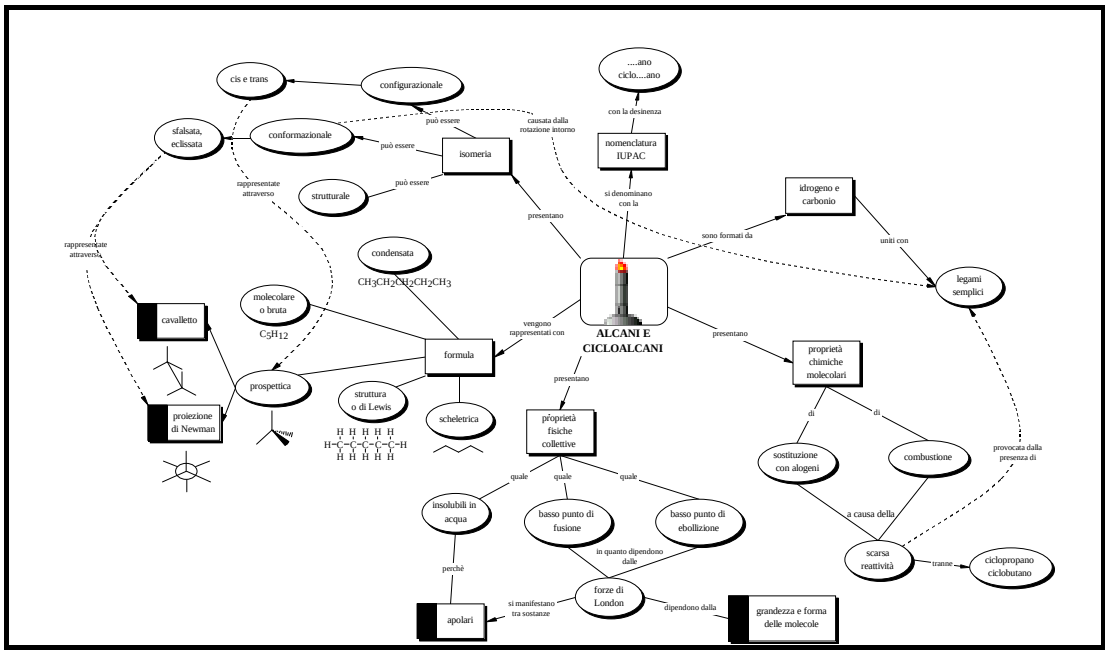


Fig. 5

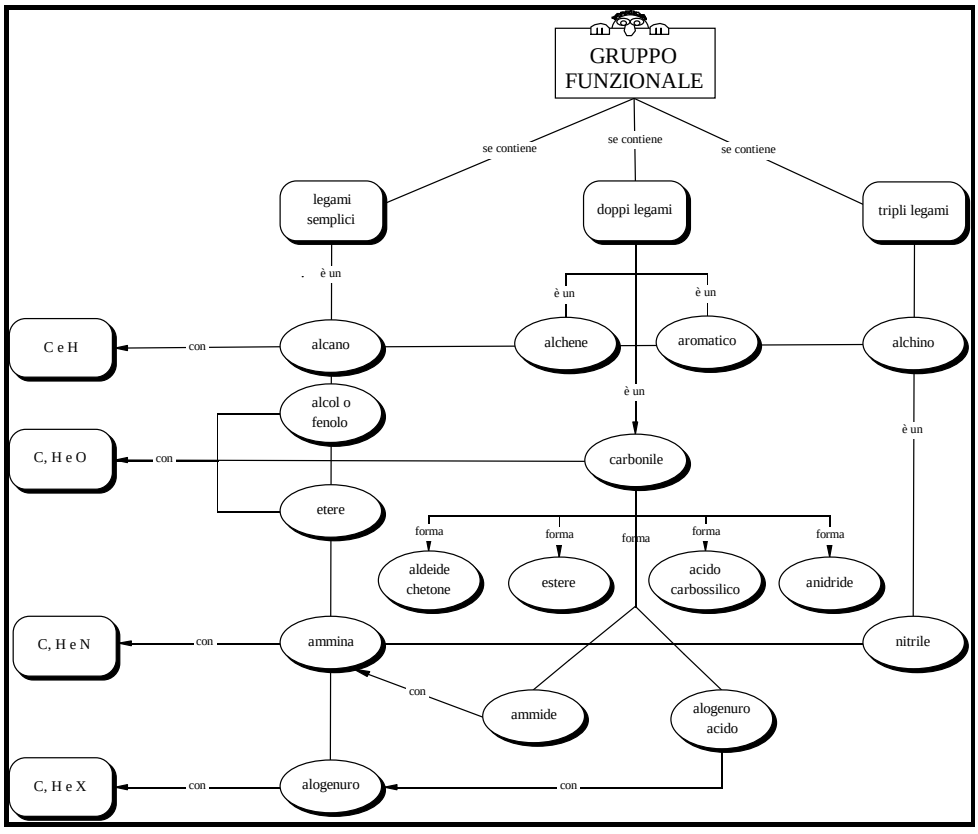


Fig. 6

do le correlazioni esistenti fra il tipo di legame e gli atomi coinvolti.
La figura 7 visualizza quali sono i concetti necessari per affrontare lo studio di un gruppo funzionale, mentre la figura 8 rappresenta il meccanismo della sostituzione nucleofila al carbonio saturo. Essendo concetti più specifici, si nota rispetto alle mappe

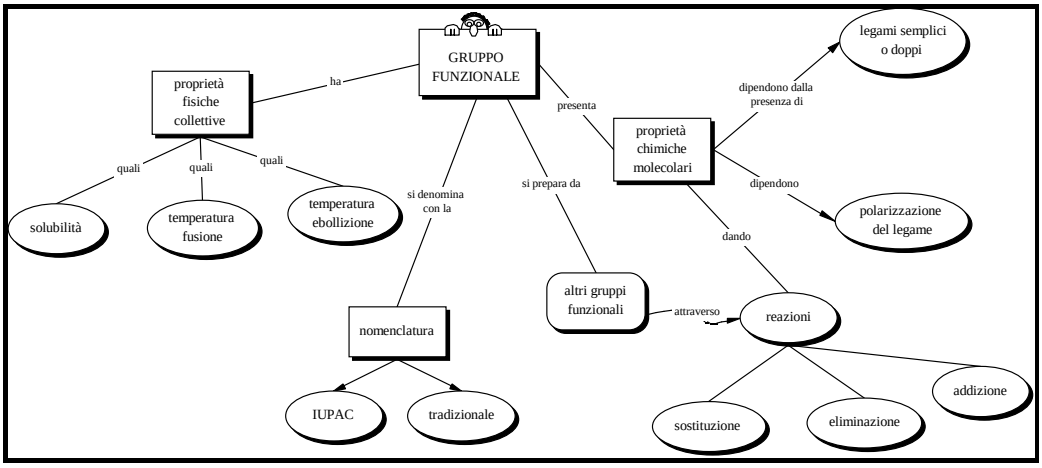


Fig. 7

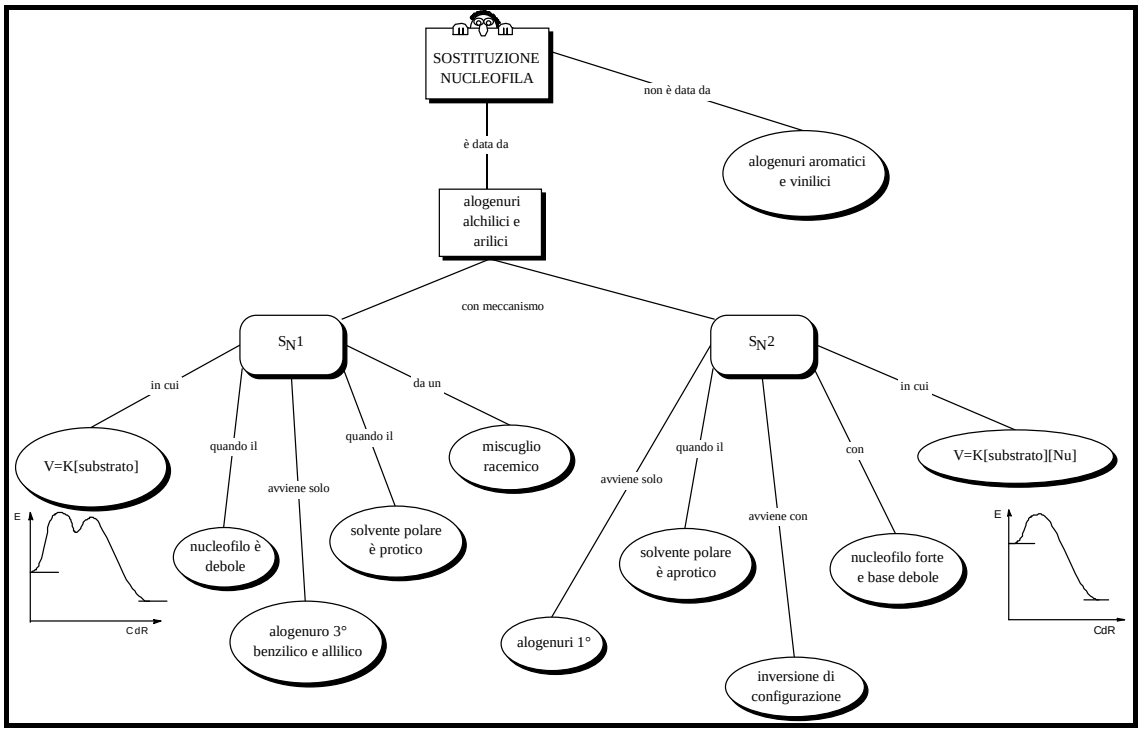


Fig. 8

precedenti un numero inferiore di concetti visualizzati, perciò la realizzazione non ha creato particolari problemi, ma è stata meno stimolante per gli studenti, che preferivano trattare argomenti più generali e meno specifici.
La figura 9 affronta lo studio del gruppo funzionale degli alcoli; si nota la presenza di un numero maggiore di concetti e quindi un gran numero di collegamenti e l'esistenza sempre più frequente di legami trasversali che valorizza la creatività degli studenti.
La figura 10 rappresenta l'ultima mappa e analizza i diversi tipi di isomeria. Questa mappa rappresenta un caso di rielaborazione successiva: infatti, è stata ripresa più volte durante l'anno scolastico e ogni volta sono stati introdotti nuovi concetti e inseriti collegamenti trasversali. Ormai gli studenti hanno raggiunto una buona autonomia e sono consapevoli della potenzialità di tale strumento metacognitivo: infatti, le mappe realizzate risultano quasi sempre sovrapponibili tra loro sia per quello che riguarda il numero di concetti utilizzati, sia per l'importanza assegnata ai vari concetti.

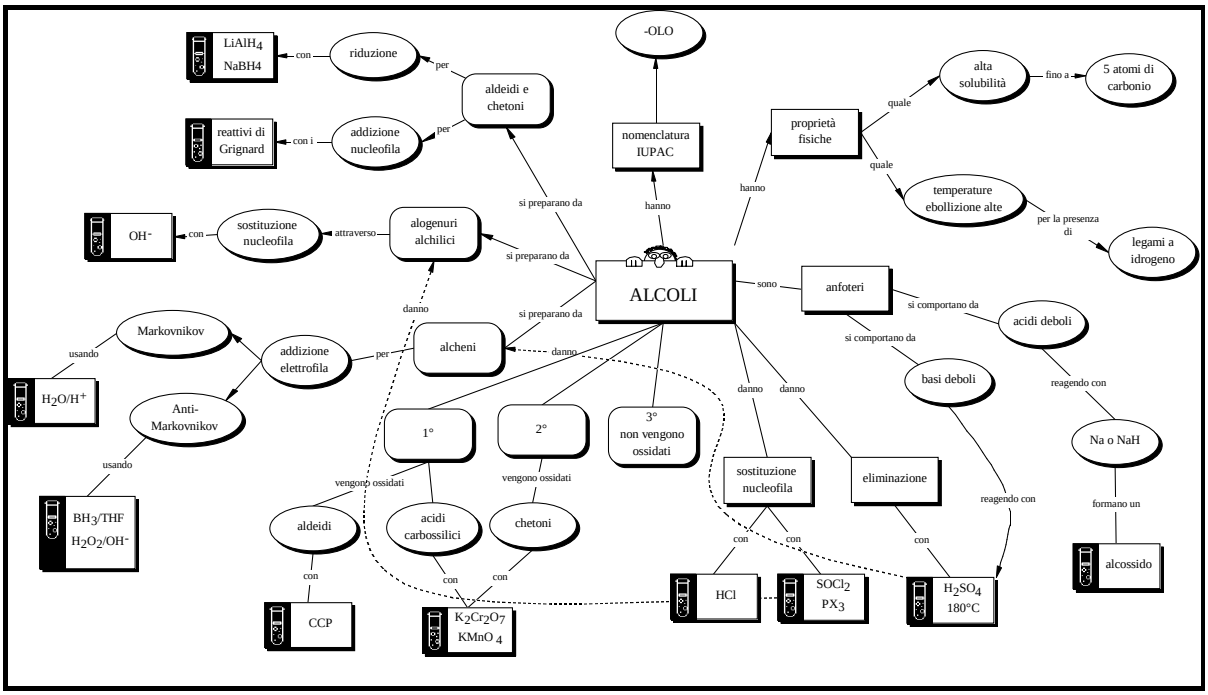

ALCOLI
-OLO
nomenclatura IUPAC
hanno
si preparano da
aldeidi e chetoni
per
riduzione
con
LiAlH4 NaBH4
addizione nucleofila
con i
reattivi di Grignard
alogenuri alchilici
attraverso
sostituzione nucleofila
con
OH-
proprietà fisiche
quale
alta solubilità
fino a
5 atomi di carbonio
temperature ebollizione alte
per la presenza di
legami a idrogeno
sono
anfoteri
si comportano da
acidi deboli
basi deboli
reagendo con
Na o NaH
formano un
alcossido
danno
alcheni
addizione elettrofila
Markovnikov
usando
H2O/H+
Anti-Markovnikov
BH3/THF H2O2/OH-
1°
2°
3° non vengono ossidati
vengono ossidati
aldeidi
acidi carbossilici
chetoni
con
CCP
K2Cr2O7 KMnO4
sostituzione nucleofila
eliminazione
HCl
SOCl2 PX3
H2SO4 180°C
reagendo con

Fig. 9

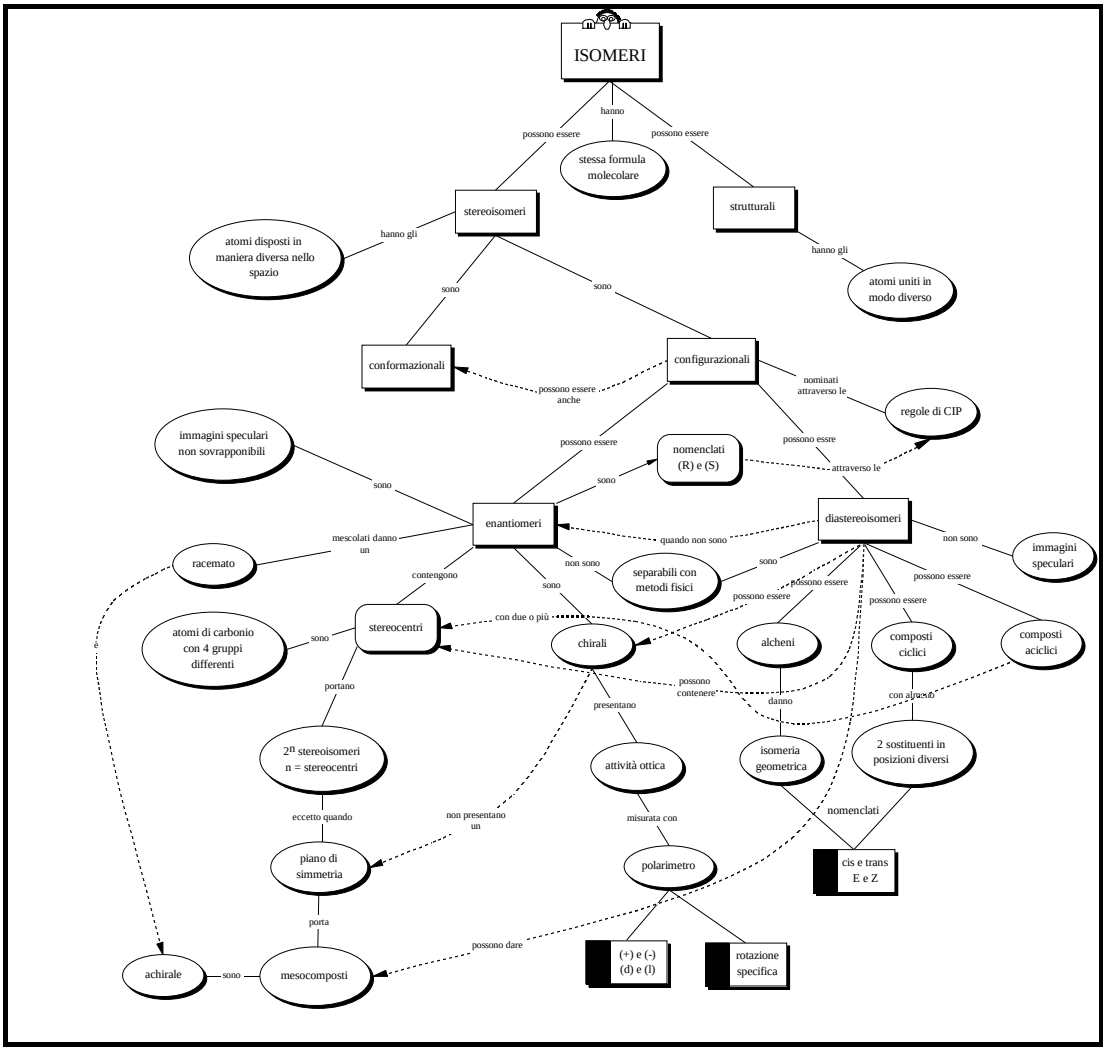

ISOMERI
hanno
possono essere
stessa formula molecolare
stereoisomeri
strutturali
hanno gli
atomi disposti in maniera diversa nello spazio
atomi uniti in modo diverso
sono
conformazionali
configurazionali
possono essere anche
nominati attraverso le
regole di CIP
immagini speculari non sovrapponibili
nomenclati (R) e (S)
possono essre
attraverso le
enantiomeri
diastereoisomeri
mescolati danno un
racemato
quando non sono
non sono
immagini speculari
contengono
separabili con metodi fisici
possono essere
atomi di carbonio con 4 gruppi differenti
stereocentri
con due o più
chirali
alcheni
composti ciclici
composti aciclici
portano
possono contenere
presentano
danno
con alcuni
2n stereoisomeri n = stereocentri
attività ottica
isomeria geometrica
2 sostituenti in posizioni diversi
nomenclati
eccetto quando
non presentano un
piano di simmetria
misurata con
polarimetro
cis e trans E e Z
porta
possono dare
achirale
mesocomposti
(+) e (-) (d) e (l)
rotazione specifica

Fig. 10

Conclusioni

L'utilizzo di mappe concettuali mi ha permesso di ottenere diversi risultati, che vorrei brevemente riassumere:
– Alcuni concetti o collegamenti visualizzati dagli alunni in modo sbagliato (misconcetti) sono stati facilmente individuati e corretti;
- Ho utilizzato le mappe non solo come controllo dell'apprendimento, ma anche come azione di recupero dopo una unità didattica o un segmento di un modulo;
- La costruzione delle mappe ha talmente entusiasmato e appassionato gli studenti da permettermi di allungare il tempo di attenzione della classe, specialmente nelle ultime ore di lezione;
- Gli studenti necessitano di un certo tempo per potersi impadronire di tale strumento metacognitivo, ma una volta acquisito, si rendono conto della sua importanza e la applicano anche in altre discipline ottenendo un miglioramento generale;
- I tempi di apprendimento si sono rilevati più rapidi per gli studenti, permettendo a tutti di poter seguire passo dopo passo il cammino percorso per arrivare alla costruzione della propria conoscenza;
- Ho notato che la fase più stimolante e creativa è stata la rielaborazione delle mappe, nella quale gli studenti, confrontandosi e discutendo tra loro, imparano a socializzare le conoscenze, creando una mappa in cui ognuno si sente protagonista;
- Nel ricostruire anche più volte le mappe non ci sono stati problemi grazie anche al software usato;
- Le mappe permettono di vedere immediatamente come uno studente organizza i concetti dando possibilità al docente di intervenire in tempi rapidi, favorendo l'autocorrezione;
- Alcuni studenti, specialmente quelli che rendevano meno durante l'attività scolastica, hanno elaborato mappe gerarchicamente ben impostate, con legami trasversali molto meglio di allievi più preparati e attenti, dimostrando maggiore creatività e consapevolezza dei propri mezzi (crescita dell'autostima);
- Le mappe concettuali possono essere anche un efficace strumento per la valutazione [11]; l'insegnante infatti può prevedere, nella sua programmazione, compiti in classe basati sulla costruzione di mappe. Per questo motivo la mappa concettuale potrebbe essere annoverata tra i metodi di valutazione "ufficiali".

Bibliografia

[1] M. Stensvold, J. T. Wilson, *J. Chem. Educ*., 1992, **69**, 230.
[2] J.D. Novak, *J. Chem. Educ.*, 1984, **61**, 607.
[3] B. D. Pendley, R. L. Bretz, J. D. Novak, *J. Chem. Educ*., 1994, **71**, 9.
[4] A. Regis, P. G. Albertazzi, E. Roletto, *J. Chem. Educ*., 1996, **73**, 1084.
[5] P. Catalani e M. d'Antona, *Didattica delle scienze*, 1999, **203**, 5.
[6] J.D. Novak e D.B. Gowin, Imparando a imparare, Torino, S.E.I. Editore, 1995.
[7] E. Niccoli, *CnS-La Chimica nella Scuola*, 1998, **2**, 35.
[8] F. Olmi, *Nuova secondaria*, 1998, **1**, 93.
[9] E. Beritta, Informatica & Scuola, 1999, **3**, 10.
[10] G. Taurino e E. Cremieux, *Informatica & Scuola*, 1998, **3**, 50.
[11] J. R. McClure, B. Sonak, K. K. Suen, *J. Res. Sci. Teach*., 1999, **36**, 475.

ESPERIENZE E RICERCHE

LA STRUTTURA PARTICELLARE DELLA MATERIA

Risultati di una indagine condotta su alcuni gruppi d'insegnanti e futuri insegnanti

ROBERTO ANDREOLI (*)
LILIANA CONTALDI (*)

INTRODUZIONE

In un articolo di P. Riani pubblicato nel 1995 (1) veniva affrontato il problema dell'introduzione del modello particellare della materia nella scuola media e, sulla base dell'analisi dei risultati di un questionario, venivano messe in evidenza le difficoltà incontrate dagli alunni nel rappresentare con un modello, pur semplice, la struttura della materia e le sue trasformazioni. Veniva inoltre fatto osservare che, dalla gran maggioranza degli insegnanti, il modello particellare viene affrontato come una spiegazione fine a se stessa e non viene utilizzato per razionalizzare i fenomeni macroscopici che può interpretare.
Riteniamo che affrontare il modello particellare della materia sia un momento particolarmente significativo, ma anche impegnativo, nell'insegnamento delle scienze, in quanto agli studenti viene richiesto, probabilmente per la prima volta, di interpretare fenomeni, che cadono comunemente sotto la loro esperienza, attraverso le considerazioni formali che derivano dall'uso di un modello non direttamente collegato alle comuni percezioni della realtà. Ci è sembrato perciò importante individuare le ragioni delle difficoltà incontrate nell'insegnamento-apprendimento nel momento del passaggio dall'esperienza sensoriale all'astrazione nella costruzione del modello.
Una prima causa individuata da Riani nelle insidie, inesattezze ed anche er-

(*) Dipartimento di Chimica
Università di Modena e Reggio Emilia
Via Campi, 183 - 41100 Modena

rori veri e propri che sono presenti nei libri di testo non ci è sembrata sufficiente per giustificare gli insuccessi riscontrati. Abbiamo perciò pensato che si dovesse analizzare anche il modo con cui l'insegnamento di questo argomento viene affrontato, non solo tenendo in considerazione il linguaggio, che può essere non adeguato, ma anche la competenza nell'uso del modello che gli insegnanti stessi possano avere.

Ci è sembrato perciò interessante proporre il medesimo testo dell'indagine, svolta da Riani, ad insegnanti laureati in varie discipline scientifiche mentre iniziavano a frequentare, negli anni che vanno dal 1995 al 1998, il "Corso di Perfezionamento in Didattica delle Scienze" presso l'Università di Modena, con l'obiettivo di conoscere se quegli insegnanti, che dovranno poi trasferire i concetti relativi alla struttura particellare della materia e ai cambiamenti di stato ad essa collegabili, riescano, essi stessi, ad usare modelli semplici, concreti, accessibili agli studenti cui si rivolgono e possiedano un linguaggio adeguato per trasferirli correttamente.

Sono stati coinvolti in questa sperimentazione 157 insegnanti: 44 nel 1995, 61 nel 1996, 32 nel 1997 e 20 nel 1998. I questionari sono stati compilati in modo anonimo per evitare agli interessati qualsiasi preoccupazione relativa ad un eventuale giudizio di merito, ma chiedendo esplicitamente la collaborazione e l'impegno.

CARATTERISTICHE DEL QUESTIONARIO

Il questionario, allegato in appendice, é suddiviso in tre parti. La prima parte tende a valutare la conoscenza della terminologia scientifica con cui si individuano i passaggi di stato. La seconda parte tende a verificare la capacità di distinzione tra aspetti macroscopici e aspetti microscopici. La terza parte richiede di rappresentare, attraverso semplici disegni, alcuni fenomeni fisici interpretati secondo il modello particellare: questa parte tende anche a verificare la capacità di concretizzare graficamente ciò che, magari solo verbalmente, può sembrare essere conosciuto.

Le risposte corrette alle prime due parti permettono di accertare soprattutto una competenza disciplinare, mentre le raffigurazioni relative alla terza parte possono essere collegate anche ad una competenza didattica.

ANALISI DEI RISULTATI

1A PARTE

La prima parte del questionario é costituita da sei frasi in cui si descrive una situazione reale di comune esperienza e si chiede il termine scientifico con cui è definito il fenomeno coinvolto; queste domande, però, presentano la possibilità, anche se non esplicitamente richiesta, di dare una risposta più articolata cercando di spiegare ciò che avviene nella descrizione.

1ª domanda: hanno risposto correttamente il 76%, ma una decina, oltre a non usare il termine scientifico corretto, non ha nemmeno riconosciuto il fenomeno e pochissimi, meno del 15%, hanno dato una interpretazione corretta di ciò che era descritto.

2ª domanda: il numero di risposte corrette è risultato superiore al 90%.

3ª domanda: hanno risposto correttamente il 67%, parecchi al posto del termine solidificazione hanno usato il termine "congelamento" o addirittura "glaciazione" ed altri, come ha osservato anche Riani, hanno confuso la causa con il fenomeno (la temperatura si è abbassata).

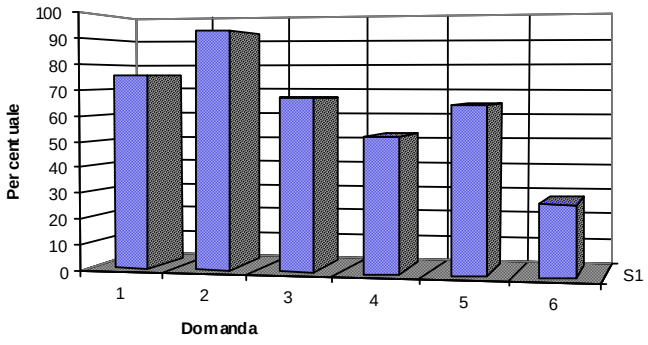
4ª domanda: poco più della metà, 52%, ha risposto con il termine corretto, molti hanno confuso la sublimazione con l'evaporazione o usato termini che fanno riferimento alla diffusione (spargimento, espansione, dispersione ecc.).

5ª domanda: hanno risposto correttamente il 64%, anche per questa domanda si possono fare le stesse osservazioni fatte per la domanda n° 3: alcuni rispondono facendo riferimento alle caratteristiche della limonata (è aspra, è acida), altri si limitano ad indicare un "mescolamento" cioè l'operazione che si compie.

6ª domanda: bassissima la percentuale di chi ha risposto correttamente: 27%, la maggior parte di chi ha risposto ha usato il termine "liquefazione" altri "scioglimento" o "scongelamento" termini derivati dal linguaggio comune.

I risultati globali ottenuti sono rappresentati nell'istogramma di figura n°1 divisi per domanda, mentre in figura n°2 sono riportate le frequenze dei risultati ottenuti singolarmente da coloro che hanno risposto; la forma della curva rappresentata nella figura n°2 ha un vago andamento che può

Fig. n°1 Percentuale di risposte corrette alle sei domande della prima parte del questionario

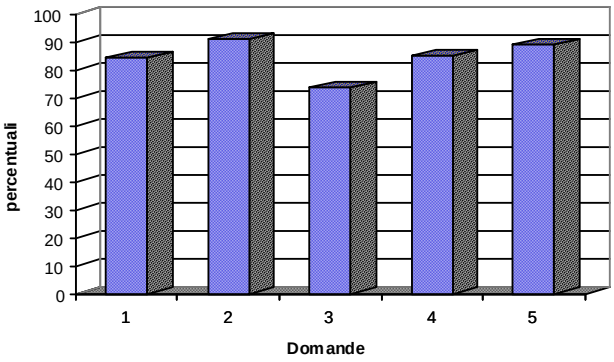


essere assimilato a quello di una curva a *J* (2,3) ci si sarebbe dovuto aspettare, ma i valori percentuali sono molto al disotto di quelli prevedibili.
Precedenti studi (4,5) , condotti in altre parti del mondo, avevano già dimostrato che molti studenti hanno una conoscenza superficiale di termini come condensazione, evaporazione, solidificazione, fusione ecc., ma l'analisi dei risultati di questa parte del questionario individua un problema linguistico anche nei laureati, facendo sorgere qualche preoccupazione su quello che potrà essere l'esito del trasferimento di queste conoscenze nell'insegnamento curriculare. Sembra che anni di studio non migliorino la terminologia scientifica che riguarda questi fenomeni e talvolta nemmeno la comprensione dei fenomeni stessi.
Una parziale spiegazione degli insoddisfacenti risultati ottenuti può essere individuata nel fatto che le domande sono formulate in un linguaggio comune che può distogliere l'attenzione dal fenomeno coinvolto o indurre a rispondere ancora con un linguaggio non scientifico (vedi, ad esempio, la domanda n°6). Anche la frase "….scrivi a quale tipo di fenomeni…" può aver tratto in inganno, nonostante le indicazioni verbali, chi ha risposto semplicemente "fenomeno fisico" o "fenomeno chimico".

2A PARTE

La seconda parte del questionario é composta da cinque quesiti del tipo vero/falso, uno in meno di quelli proposti da Riani (è stato tolto l'ultimo perché sembrava troppo semplice da proporre a degli insegnanti). Le domande tendono a verificare se c'é la consapevolezza che le proprietà macroscopiche non possono essere trasferite direttamente alle particelle di un modello microscopico (le molecole non diventano solide o liquide nei passaggi di stato, né durante il processo di dissoluzione).
Questa parte é la più semplice dell'intero questionario ed effettivamente i risultati sono stati decisamente più positivi rispetto alla precedente serie di domande, anche se ci si sarebbero dovute aspettare percentuali più alte di quelle ottenute. Le percentuali di risposte corrette infatti, riportate in figura n°3, superano mediamente l'85%, solo le risposte alla domanda n°3 rimangono nettamente sotto questa media, mettendo in evidenza che la struttura rigida del solido può facilmente far pensare che anche le molecole siano solide nel ghiaccio.

Fig n° 3 Percentualedi risposte corrette alle cinque domande della seconda parte del questionario



3A PARTE

L'analisi della terza parte del questionario è risultata più difficoltosa delle precedenti per la varia tipologia delle risposte o per il modo con cui sono state disegnate le rappresentazioni dei fenomeni, perciò sono state raggruppate le domande dividendole in tre gruppi simili per contenuti.
Le risposte alle prime tre domande sono state considerate insieme e hanno messo in evidenza la difficoltà incontrata, anche dagli insegnanti, nel tentare di disegnare la disposizione delle particelle nei tre stati fisici; il 20% non ha risposto o non è riuscito a dare una risposta comprensibile, alcuni altri, circa il 30%, hanno tentato una risposta attraverso frasi esplicative, molti hanno utilizzato formule di tipo chimico, nonostante fosse stato più volte raccomandato, durante l'esecuzione del test, di usare rappresentazioni grafiche come se dovessero essere presentate direttamente in una classe della scuola media inferiore. Le rappresentazioni accettabili sono solo dell'ordine del 15%. Quello che risulta più evidente dai disegni é che la differenza fra i tre stati sembra essere data solo dal variare della distanza fra le particelle o dalla dimensione delle particelle stesse (33% di risposte di questo tipo); altri poi hanno rappresentato le particelle di forma squadrata o all'interno di un fluido.
Le due domande successive, relative alla disposizione delle molecole di zucchero in un cristallo o in soluzione, hanno presentato minori problemi (più del 40% di risposte accettabili, percentuale comunque bassa), anche se alcuni hanno continuato ad usare le formule chimiche o a disegnare le molecole di zucchero in forma esagonale, squadrata o a forma di Z.
È risultato molto difficile per gli insegnanti che nei vari anni hanno eseguito la prova, rispondere alle ultime tre domande riguardanti il processo di discioglimento dello zucchero e i cambiamenti di stato dell'acqua, tanto che mediamente più del 70% non ha dato alcuna risposta o ha eseguito rappresentazioni incomprensibili o chiaramente sbagliate; altri hanno continuato ad usare le formule chimiche o a dare una forma particolare alle particelle (esagonale, quadrata, ecc.). Le risposte accettabili sono circa il 20% e solo per la domanda N° 8 la percentuale di risposte corrette è lievemente superiore.

CONCLUSIONI

L'analisi dei risultati ottenuti permette di constatare che gli insegnanti che hanno risposto al questionario presentano le stesse difficoltà riscontrate negli studenti della scuola media nel lavoro di Riani: molto spesso non sono conosciuti alcuni termini scientifici con cui vengono indicati i passaggi di stato (sublimazione e fusione soprattutto), e inoltre qualche insegnante confonde il fenomeno con la causa o dà la risposta più immediata (formazione di ghiaccio=fa freddo ecc.) come gli allievi che Riani colloca nella fascia medio bassa di rendimento scolastico. Difficoltà, forse ancora maggiori, sono emerse nella terza parte del questionario, sia per l'incapacità di rappresentare graficamente situazioni apprese all'università solo in modo formale o simboli-

co, sia per l'interferenza dovuta proprio alla conoscenza di un linguaggio simbolico (molti non riuscivano a rappresentare le particelle se non attraverso i simboli chimici).
Anche se questi risultati non hanno la pretesa di essere rappresentativi di tutto l'insieme degli insegnanti di materie scientifiche, ci sembra che il quadro che emerge sia particolarmente significativo sia per il numero degli insegnanti coinvolti nell'indagine, sia per le percentuali riportate, sia perché l'indagine si è protratta per diversi anni senza mostrare nel tempo modifiche sostanziali nelle risposte come mostrato dalla figura n°4 che riporta, come esempio le frequenze di risposte esatte alle domande della prima parte del questionario.
In conclusione ci sembra di poter affermare che, almeno per quanto riguarda gli aspetti della natura particellare della materia trattati, sarebbe necessario un intervento che interrompa quella specie di circolo vizioso che emerge dalle due indagini, cioè gli alunni hanno difficoltà nell'apprendere concetti che anche gli insegnanti non conoscono completamente perché ad essi stessi non sono mai stati insegnati correttamente o solo in modo formale in qualche corso universitario. Ad esempio sarebbero necessari interventi precisi su questo argomento a livello di aggiornamento degli insegnanti, soprattutto nelle scuole di specializzazione che si stanno istituendo nelle varie regioni.
Recentemente è stato pubblicato un lavoro (6) che si occupa anch'esso di analizzare le conoscenze di insegnanti o almeno di futuri insegnati, relative ai concetti di evaporazione, condensazione ed ebollizione. L'analisi delle risposte a domande, in verità più complesse di quelle utilizzate in questo lavoro, rivolte agli studenti della National Taipei Teachers College porta l'autore a conclusioni simili a quelle sopra esposte facendo pensare che i problemi legati all'apprendimento di questi concetti siano di portata più vasta e non siano limitati al campione di insegnanti che hanno risposto a questo questionario.

BIBLIOGRAFIA

[1] P. Riani, La struttura particellare della materia nella scuola media inferiore: risultati di una indagine e riflessioni didattiche. La Chimica nella Scuola **3** 79-85 (1995)
[2] G. De Landsheere, Elementi di docimologia, La Nuova Italia Editrice 1974 pag.189-197
[3] B. Vertecchi, Valutazione Formativa, Loescher Editore Torino 1976 pag 63-69
[4] B. Anderson, Pupil conception of matter and is trasformations (age 12-16) Studies in Science Educatio, **18** 53-85 (1990)
[5] V. Bar and A.S. Travis, Childrens views concerning phase changes, Journal of Reserch in Science Teaching **28** 363-382 (1991)
[6] Jin-YI Chang, Teachers College Students' Conceptions about Evaporation, Condensation and Boiling, Science Education 511-526 (1999)

Errata Corrige

Nella pagina 51 del fascicolo precedente, per un errore tipografico, la nota riferita al Footballene è incompleta. Riportiamo di seguito la nota scusandoci con i lettori. "*Footballene è stato uno dei nomi proposti per il fullerene al tempo della sua scoperta*"

GLI STUDENTI RISOLVONO I PROBLEMI

In *La Chimica nella Scuola*, 1995, **XVII**, 142, sono stati pubblicati 3 problemi che ancora mancano della soluzione. Mi scuso con gli Autori che li hanno proposti e con i lettori per il ritardo dovuto alla mancanza di soluzioni. Alcuni insegnanti avevano fatto sapere che avrebbero utilizzato in classe i problemi riportati in questa rubrica come sfida per i propri studenti, ma nessuna delle soluzioni degli studenti è ancora arrivata. Così ho pensato di rimediare, assegnando questi problemi come "compiti per casa" agli studenti del primo anno di Ingegneria che seguono il corso di chimica tenuto dal curatore di questa rubrica. Questi studenti lavorano alla risoluzione dei problemi in gruppi di 4, ciascuno con un proprio ruolo, secondo il metodo cooperativo [1].

Problema 1
Un metallo forma due composti con l'ossigeno che contengono rispettivamente il 68,42% ed il 52,00% di metallo. Stabilire la formula dei due ossidi ed il peso atomico del metallo.

L'autore, **Eugenio Rosin**, propone la soluzione che segue. Tenendo conto delle valenze, possiamo considerare le formule dei composti scritte come M_2O_n e M_2O_m, con *m* ed *n*, numeri interi. In M_2O_n si ha:

$$\frac{2PA}{2PA + 16{,}00\ n} = 0{,}6842$$

dove *PA* indica la massa atomica relativa del metallo. Si ottiene: PA = 17,332 n. In M_2O_m si ha:

$$\frac{2\ PA}{2\ PA + 16{,}00\ m} = 0{,}5200$$

Si ottiene: PA = 8,6667 m. Facendo il rapporto tra i valori ottenuti, si ha:
17,332/8,6667 = m/n = 2,000
Ora si determina il valore di m ed n, procedendo per tentativi e utilizzando l'informazione appena trovata.

n	m	PA
1	2	17,33
2	4	34,67
3	6	52,00
4	8	69,33

Dai valori ottenuti, si determina il valore di PA. Dalla quarta combinazione si ottiene un valore di PA molto vicino alla massa atomica relativa del gallio; però la valenza 8 (come pure la valenza 4) non ha senso. L'elemento è il cromo che ha massa atomica relativa 52,00.

Pochi gruppi non hanno risolto questo problema; tre gruppi sono giunti alla conclusione che il problema non si poteva risolvere per mancanza di dati (massa atomica relativa). Un gruppo formato da 4 studentesse, ha proposto soluzione che segue. Indicano con I il primo ossido e con II il secondo; nell'ossido I si ha:
68,42 g M e 31,58 g O.
31,58 g O ≡ 1,974 mol O

Nell'ossido II si ha:
52,00 g M e 48,00 g O.
48,00 g O ≡ 3,000 mol O

Calcolano il rapporto tra le moli di metallo nel composto I e quelle nel composto II:

$$\frac{n(M\ (I))}{n(M\ (II))} = \frac{68{,}42/PA}{52{,}00/PA} = 1{,}316$$

E fanno la stessa cosa per l'ossigeno:

$$n(O\ (I))/n(O\ (II)) = 0{,}6579$$

1,316/0,6579 = 2,000. Perciò:

$$\frac{n(M\ (I))}{n(O\ (I))} = \frac{2{,}000 \cdot n(M\ (II))}{n(O\ (II))}$$

Ovvero,
n(M (I)) = 2,000·n(M (II))·0,6579
Ipotesi: se n(M (II)) = 1,000 mol M, si ottiene:
n(M (I)) = 1,316 mol;
questo implica:
1,316 mol M ≡ 68,42 g M
PA = 68,42 g M/1,316 mol M = 51,99 g/mol (il metallo è il cromo)
(1,316 mol M)/(1,974 mol O) = 0,6667

Non si accorgono che il numero 0,6667 è dato dal rapporto 2/3; arrivano alla formula dal rapporto tra le moli di ossigeno e quelle del cromo. Poiché l'ossigeno ha valenza 2: (2·1,974/1,316 = 3), la formula dell'ossido I è Cr_2O_3.

VERIFICA
Verificano la correttezza del risultato ottenuto ricavando il rapporto di combinazione attraverso un procedimento diverso. Dato che in 100,0 g di ossido II sono contenuti 48,00 g di ossigeno, che corrispondono a 3,000 mol O, 52,00 g di metallo corrispondono a 1,000 mol Cr.

(1,316 mol M)/(1,974 mol O) =
= 0,6667 = 2/3.

Un altro gruppo ha risolto il problema utilizzando un procedimento diverso, con un numero minore di passaggi.
Base per il calcolo: 100, 0 g di ossido.
In 100,0 g di ossido II, si hanno:

n(O) = (48,00 g O)/(16,00 g O/mol O)=
= 3,000 mol O

Il resto a 100,0 sono 52,00 g di metallo che corrispondono ad un numero intero di moli; dai valori delle masse atomiche relative si deduce che il numero di moli è 1 e la formula dell'ossido è MO_3.

Nell'ossido I:
n(M) = (68,42 g M)/(52,00g M/mol M)=
= 1,316 mol M
n(O) = (31,58 g O)/(16,00 g O/mol O)=
= 1,974 mol O

Dividendo per il più piccolo, si ha:
1,974 mol O/1,316 mol M =
=1,500 mol O/mol M

Moltiplicando per 2, si ottiene la formula espressa con numeri interi. La formula dell'ossido I è perciò: M_2O_3.

VERIFICA
I risultati sono in ottimo accordo con i dati del problema; l'elemento è il cromo.
Alcune delle soluzioni proposte sono sbagliate. Due gruppi sbagliano il calcolo delle moli di ossigeno:
$n(O) = (31{,}58\ g\ O_2)/(32{,}00\ g\ O_2/mol\ O_2) =$
$= 0{,}9869$ mol O_2 e due gruppi sbagliano perché non utilizzano in modo appropriato le cifre significative:
$(31{,}58\ g\ O)/(16{,}00\ g\ O/mol\ O) = 2$ mol O.
Uno di questi due gruppi conclude che l'elemento è lo zolfo, mentre l'altro gruppo, attraverso un ragionamento congruente, arriva ugualmente a stabilire che il metallo è il cromo, dopo aver scartato diversi elementi: Se, Ba, Ga e Cl.

Può essere interessante per quanti tra i lettori sono coinvolti nell'insegnamento del calcolo stechiometrico considerare come a volte gli studenti, nella risoluzione dei problemi, arrivano a sentirsi bloccati, senza rendersi conto di dove hanno sbagliato o come fare per trovare una via di uscita.
Un gruppo ha rappresentato in modo corretto il problema ma ha dimenticato di usare i coefficienti n e m subito dopo averli introdotti; per l'ossido I è stata usata la formula M_2O_n. Base per il calcolo: 100,0 g M_2O_n.

68,42 g M : 31,58 g O =
=2 PA : 16,00 g O/mol O
PA = 17,332 g/mol

VERIFICA
Se PA è giusto, si deve ritrovare lo stesso valore utilizzando i dati dell'ossido II.
Formula dell'ossido: M_2O_m.
Base per il calcolo: 100,0 g M_2O_m.

52,00 g M : 48,00 g O =
=2 PA : 16,00 g O/mol O
PA = 8,6667 g/mol

Invece PA è diverso. In questo procedimento l'errore risiede nell'uso di relazioni stechiometriche sbagliate; gli studenti non sanno correggere l'errore perciò concludono che non è possibile risolvere questo problema perchè non esiste alcun metallo con massa atomica relativa di 8,6667 g/mol e 17,332 g/mol.

Problema 2
5,000 g di un miscuglio di $CaCO_3$ e di $MgCO_3$ contengono il 30,00% di Ca. Se viene riscaldato fino a peso costante, quale sarà la perdita percentuale di massa?

La soluzione di questo problema viene proposta dall'autore, **Francesco Di Nola**. Viene utilizzata la procedura strutturata del metodo ASV [2].

1 DFP(1)
Avvengono le reazioni:

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$
$$MgCO_3 \longrightarrow MgO + CO_2$$

La perdita di massa è dovuta alla formazione della CO_2 gassosa.

2 SIA(2)
1 mol $CaCO_3 \equiv 100{,}1$ g $CaCO_3$
1 mol $MgCO_3 \equiv 84{,}32$ g $MgCO_3$
1 mol $CO_2 \equiv 44{,}01$ g CO_2

Massa del calcio nel miscuglio (msg):
100,0 g msg : 30,00 g Ca =
=5,000 g msg : x g Ca
x = 1,500 g Ca
1,500 g Ca $\equiv 3{,}742\cdot10^{-2}$ mol Ca $\equiv$
$\equiv n(CaCO_3) \equiv n(CO_2)$
Massa $CaCO_3 = (3{,}742\cdot10^{-2}$ mol $CaCO_3)\cdot(100{,}1$ g $CaCO_3$/mol $CaCO_3)$
$= 3{,}746$ g $CaCO_3$

Massa $MgCO_3 = 5{,}000$ g msg +
- 3,746 g $CaCO_3 = 1{,}254$ g $MgCO_3$
1,254 g $MgCO_3 \equiv 1{,}487\cdot10^{-2}$ mol $MgCO_3$
Le moli di CO_2 formate sono in numero uguale alla somma delle moli dei due sali.

3 CVI(3)
$3{,}742\cdot10^{-2}$ mol $CO_2 + 1{,}487\cdot10^{-2}$ mol $CO_2 = 5{,}229\cdot10^{-2}$ mol CO_2
Massa di $CO_2 = (5{,}229\cdot10^{-2}$ mol $CO_2)\cdot$
$\cdot(44{,}01$ g CO_2/mol $CO_2) = 2{,}301$ g CO_2
Perdita di massa percentuale:
5,000 g msg : 2,301 g = 100,0 g msg : y g
y = 46,02%

VERIFICA
1 mol $CaO \equiv 56{,}08$ g CaO
1 mol $MgO \equiv 40{,}31$ g MgO
Massa $CaO = (3{,}742\cdot10^{-2}$ mol $CaO)\cdot$
$\cdot(56{,}08$ g CaO/mol CaO) = 2,098 g CaO
Massa $MgO = (1{,}487\cdot10^{-2}$ mol $MgO)\cdot$
$\cdot(40{,}31$ g MgO/mol MgO) = 0,5994 g MgO
La verifica si basa sulla conservazione della massa: Σ (masse dei reagenti) = Σ (masse dei prodotti)
2,098 g CaO + 0,5994 g MgO +
+ 2,301 g CO_2 = 4,998 g msg
Le soluzioni proposte dagli studenti (una ventina) seguono tutte lo schema presentato, con alcune minori variazioni; una soluzione è diversa dalle altre.

2 SIA(2)
Relazioni stechiometriche:
1 mol $CaCO_3 \supset 1$ mol C
1 mol $MgCO_3 \supset 1$ mol C
1 mol C $\equiv 1$ mol CO_2
Il simbolo $\supset$ indica una relazione stechiometrica di proporzionalità e significa "contiene".
Rapporti stechiometrici:
rs = 1 mol C/1 mol $CaCO_3$ =
=1 mol C/1 mol $MgCO_3$ =
= 1 mol CO_2/1 mol C

3 CVI(3)
Come nella soluzione precedente sono state ricavate $n(CaCO_3)$ e $n(MgCO_3)$.

Moli C in $CaCO_3$:
$(3{,}742\cdot10^{-2}$ mol $CaCO_3)\cdot$
$\cdot(1$ mol C/1 mol $CaCO_3) =$
$= 3{,}742\cdot10^{-2}$ mol C

Moli C in $MgCO_3$:
$(1{,}487\cdot10^{-2}$ mol $MgCO_3)\cdot$
$\cdot(1$ mol C/1 mol $MgCO_3) =$
$=1{,}487\cdot10^{-2}$ mol C

$n(C) = 3{,}742\cdot10^{-2}$ mol C +
$+1{,}487\cdot10^{-2}$ mol C $= 5{,}229\cdot10^{-2}$ mol C
$(5{,}229\cdot10^{-2}$ mol C)$\cdot(1$ mol CO_2/1 mol C)=
$= 5{,}229\cdot10^{-2}$ mol CO_2
Poi come la soluzione precedente.

Problema 3
1,000 g di un miscuglio di NaCl e KCl contiene il 30,00% di NaCl. Calcolare quanto NaCl deve essere aggiunto in modo che il miscuglio risultante contenga il 60,00% di cloro.

Questo problema è stato proposto da **Francesco Di Nola** e non è stata fornita alcuna risoluzione. Il problema è percepito essere difficile da risolvere attraverso un ragionamento sequenziale e di solito si ricorre ad un algoritmo matematico. L'aggiunta di NaCl aumenta il contenuto di cloro e nel contempo aumenta la massa del miscuglio. Queste variazioni diverse di due grandezze differenti prodotte dalla stessa aggiunta di NaCl rendono difficile il ra-

gionamento. Si potrebbe pensare di risolvere questo problema per via numerica; dopo ogni aggiunta di NaCl si calcola la percentuale di cloro, fino a soddisfare le richieste del problema: i nostri studenti conoscono una scorciatoia algebrica per risolvere il problema.
Visto dall'ottica della teoria della dinamica dei sistemi, è questo un sistema con circuito di feedback negativo di primo grado [3]. Dal punto di vista didattico, la strategia migliore per costruire la soluzione e ragionare sui passaggi è quella che si ottiene applicando il metodo Hansel e Gretel [4]. Secondo questo metodo lo studente risolve un altro problema, in una forma che percepisce essere facile, poi adatta il ragionamento svolto nel problema più facile e risolve il problema percepito difficile. Per applicare il metodo Hansel e Gretel lo studente immagina di conoscere il risultato (non è necessaria una stima vicina al vero): ad esempio, immaginiamo che sia necessario aggiungere 10,00 g NaCl per soddisfare le richieste del problema. Perciò lo studente risolve il problema: 1,000 g di un miscuglio di NaCl e KCl contiene il 30,00% di NaCl. A questo miscuglio sono aggiunti 10,00 g di NaCl. Calcolare la percentuale di cloro nel miscuglio risultante.

1 DFP(1)
Base per il calcolo:
1,000 g msg (NaCl + KCl)+10,00 g NaCl =
= 11,00 g msg (NaCl + KCl)
1 mol Cl ≡ 35,45 g Cl;
1 mol NaCl ≡ 58,44 g NaCl;
1 mol KCl ≡ 74,55 g KCl

1,000 g msg (30% NaCl + KCl)=
= 0,300 g NaCl + 0,700 g KCl
Relazioni stechiometriche:
1 mol NaCl ≡ 1 mol Cl;
1 mol KCl ≡ 1 mol Cl
rs = 1 mol Cl/1 mol NaCl =
= 1 mol Cl/1 mol KCl

2 SIA(2)
Percentuale di cloro nel miscuglio iniziale:
(0,300g NaCl)·(1molNaCl/58,44g NaCl) =
= $5,133\cdot10^{-3}$ mol Cl (in NaCl)
(0,700 g KCl)·(1 mol KCl/74,55 g KCl)=
= $9,390\cdot10^{-3}$ mol Cl (in KCl)
n(Cl) = $5,133\cdot10^{-3}$ mol Cl +
+ $9,390\cdot10^{-3}$ mol Cl = $1,452\cdot10^{-2}$ mol Cl

Massa Cl = ($1,452\cdot10^{-2}$ mol Cl)·
·(35,45 g Cl/mol Cl) = $5,148\cdot10^{-1}$ g Cl

Il miscuglio iniziale contiene il 51,48% di cloro.
Dopo l'aggiunta di 10,00 g NaCl, il problema può essere ridefinito: calcolare la percentuale di cloro in un miscuglio contenente 0,700 g di KCl e 10,30 g di NaCl.

3 CVI(3)
0,700 g KCl ≡ $9,390\cdot10^{-3}$ mol Cl
10,30 g NaCl ≡ $1,762\cdot10^{-1}$ mol Cl
n(Cl) = $9,390\cdot10^{-3}$ mol Cl +
+ $1,762\cdot10^{-1}$ mol Cl =
= $1,856\cdot10^{-1}$ mol Cl (in 11,00 g msg)

Massa Cl = ($1,856\cdot10^{-1}$ mol Cl)·
·(35,45 g Cl/mol Cl) = 6,580 g Cl

Percentuale di cloro:
11,00 g msg : 6,580 g Cl =
= 100,0 g msg : x g Cl
x = 59,82% Cl

VERIFICA
Si può verificare la correttezza del risultato calcolando le percentuali di sodio e di potassio nel miscuglio; sommando le percentuali si ha:
59,82% Cl + 36,83% Na + 3,337% K =
= 99,99
A questo punto, oltre ad aver risolto il problema indiretto ed avere così una traccia per risolvere il problema iniziale, sono stati ottenuti altri risultati: l'informazione contenuta nel testo del problema ("NaCl contiene in proporzione più cloro di KCl", che per noi esperti è evidente) è corretta e per arrivare al 60,00% di cloro è necessario aggiungere una massa di NaCl maggiore di 10,00 g.
Per risolvere il problema iniziale, si parte dall'ultimo passaggio. A 1,000 g msg è stata aggiunta una certa quantità di NaCl in modo da ottenere un miscuglio risultante che contiene il 60,00% di cloro. Indichiamo con *A* i grammi di NaCl contenuti nel miscuglio. Il miscuglio risulta così formato:
0,700 g KCl + A g NaCl =
= (0,700 + A) g msg.
La proporzione dell'ultimo passaggio viene adattata al nuovo problema:
(0,700 + A) g msg : x g Cl =
= 100,0 g msg : 60,00 g Cl
Abbiamo bisogno di sapere quanti grammi (x) di cloro sono contenuti in (0,700 + A) g msg.
In 0,700 g KCl:
0,700 g KCl ≡ $3,329\cdot10^{-1}$ g Cl
In A g NaCl (indichiamo con *a* i grammi di cloro che corrispondono ad A g NaCl):
(A g NaCl)·(1 mol NaCl/58,44 g NaCl)·
·(35,45 g Cl/mol Cl) = a g Cl (1)

Ora la proporzione diventa:
(0,700 + A) g msg : ($3,329\cdot10^{-1}$ + a) g Cl =
= 100,0 g msg : 60,00 g Cl

Ricaviamo a:
a = (0,700 + A)·0,600 - $3,329\cdot10^{-1}$ (2)

Si eguagliano le equazioni 1 e 2:
(35,45/58,44 - 0,6000)·A =
= 0,4200 - 0,3329
A = 13,19 g NaCl

Il miscuglio risultante contiene
0,700 g KCl e 13,19 g NaCl = 13,89 g msg
a = 8,001 g Cl (in NaCl)
Massa Cl = $3,329\cdot10^{-1}$ g Cl +
+ 8,001 g Cl = 8,334 g Cl

VERIFICA
13,89 g msg : 8,334 g Cl =
= 100,0 g msg : w g Cl
w = 60,00% Cl
Risposta: i grammi di NaCl da aggiungere sono:
13,19 g NaCl - 0,300 g NaCl =
= 12,89 g NaCl.
Ma questo problema si può risolvere in altri modi. Il miscuglio alla fine deve contenere il 60,00% di cloro. Ciò implica che il 40,00% è sodio + potassio.

1 DFP(1)
Base per il calcolo: 100,0 g msg; 60,00 g Cl (da NaCl e KCl), 40,00 g Na + K
In 40,00 g Na + K, quanto è il potassio? In 60,00 g Cl, quanto è il cloro che proviene da KCl?

2 SIA(2)
Indicando con N i grammi di sodio, calcoliamo il potassio nel miscuglio:
(40,00 g - N g Na)/(39,10 g K/mol K) =
= n(K) = n(Cl in KCl)
[(40,00 - N)/39,10]·(35,45 g Cl/mol Cl)=
= massa di Cl (in KCl)
Cloro (da NaCl) nel miscuglio:
(N g Na)/(22,99 g Na/mol Na) =
= n(Na) = n(Cl da NaCl)
(N/22,99)·(35,45 g Cl/mol Cl) =
= massa di Cl (in NaCl)
60,00 g Cl - (N/22,99)·(35,45 g Cl/mol Cl) =
= massa di Cl (in KCl)

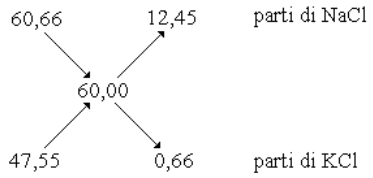
3 CVI(3)
Possiamo scrivere:
[(40,00 - N)/39,10]·35,45 =
= 60,00 - 35,45·N/22,99
N = 37,357 g Na in 100,0 g msg
37,357 g Na ≡ 57,604 g Cl (da NaCl)

NaCl in 100,0 g msg:
37,357 g Na + 57,604 g Cl =
= 94,961 g NaCl
100,0 g msg - 94,961 g NaCl =
= 5,039 g KCl (in 100,0 g msg)
In che quantità di miscuglio è contenuto 0,700 g KCl?
100,0 g msg : 5,039 g KCl =
= t g msg : 0,700 g KCl
t = 13,89 g msg

Una terza maniera per risolvere il problema fa uso della regola della croce [5]. Si calcola la composizione dei due sali:

	%Na	%Cl	%K
NaCl	39,34	60,66	0
KCl	0	47,55	52,45

Si costruisce la croce:



Per ottenere un miscuglio di NaCl e KCl che contiene il 60,00% di cloro, è necessario mescolare 12,45 g di NaCl con 0,66 g di KCl e si ottengono 13,11 g di miscuglio. Il dato di partenza è 0,700 g di KCl; con quanto NaCl deve essere mescolato per ottenere un miscuglio al 60,00%?

12,45 g NaCl : 0,66 g KCl =
=x g NaCl : 0,700 g KCl
x = 13,20 g NaCl

Si ottengono 13,20 g NaCl + 0,700 g KCl = 13,90 g msg che contengono il 60,00% di cloro.

E' possibile risolvere il problema applicando la teoria della dinamica dei sistemi; l'equazione per un sistema con circuito di feedback negativo di primo grado è la seguente [3]:

$$OR = (DI - I)/AT$$

In cui, DI è la variabile che funge da controllo (60,00%), I è il valore effettivo della percentuale di cloro nel miscuglio, AT è il fattore di adeguamento, posto in questo calcolo uguale a 0,8 e OR è il tasso di incremento e nel nostro caso sono i grammi di NaCl da aggiungere. Un programma esegue i calcoli iterando il procedimento fino ad ottenere il risultato con la precisione desiderata. Nella tabella seguente sono riportati valori ottenuti in alcune delle iterazioni:

iterazioni	grammi msg	% Cl	grammi NaCl
0	1,000	51,49	0,300
1	11,638	59,872	10,938
15	13,028	59,957	12,328
52	13,801	59,996	13,101
140	13,884	60,000	13,184

Riporto due soluzioni proposte dallo stesso gruppo di studenti; la prima è simile a quella del metodo Hansel e Gretel. Come base per il calcolo scelgono 1,000 g msg e calcolano i grammi di cloro in NaCl e KCl:
58,44 g NaCl : 35,45 g Cl =
= 0,3000 g NaCl : x g Cl
x = 0,1820 g Cl
74,55 g KCl : 35,45 g Cl =
= 0,7000 g KCl : y g Cl
y = 0,3329 g Cl
0,1820 g Cl + 0,3329 g Cl = 0,5149 g Cl (in 1,000 g msg)

Indicano con x i grammi di NaCl da aggiungere a 1,000 g msg. Si ha:

massa msg (finale) =
= 1,000 g msg + x g NaCl

Calcolano i grammi di cloro in 1,000 g di NaCl:
58,44 g NaCl : 35,45 g Cl =
= 1,000 g NaCl : z g Cl
z = 0,6066 g Cl
massa Cl = 0,6066·x g Cl (in x g NaCl)

Allora:
0,5149 + 0,6066·x = 0,600·(1,000 + x)
x = 12,89 g NaCl da aggiungere

Nella seconda soluzione indicano con x i grammi di cloro contenuti nel cloruro di sodio necessario a soddisfare le richieste del problema e calcolano i grammi di sodio che corrispondono ai x grammi di cloro:
massa Na = 0,6485·x
Impongono la condizione:
0,5149 + x = 0,600·(1,000 + 0,6485x + x)
x = 7,807 g Cl
massa NaCl = x·(1 + 0,6485) = 12,87 g di NaCl da aggiungere

La maggioranza delle soluzioni proposte, seppur all'apparenza diverse, utilizzano il ragionamento algebrico riportato: una è completamente differente. Lo studente si chiede quale percentuale di ciascuno dei due sali contiene un miscuglio formato da 1,000 mol NaCl e 1,000 mol KCl e trova che contiene 56,06 g di KCl e 43,94 g di NaCl. Calcola invero in modo strano, il rapporto in moli per avere il 30,00% di NaCl e il 70,00% di KCl:
$\alpha \cdot 43{,}94 = 30{,}00$; $\alpha = 0{,}6827$ mol NaCl
$\beta \cdot 56{,}06 = 70{,}00$; $\beta = 1{,}249$ mol KCl
$\beta/\alpha = 1{,}830$ mol KCl/mol NaCl
In questo modo ha ottenuto l'informazione che in un miscuglio al 30,00% di NaCl e 70,00% di KCl il rapporto in moli è 1,830 mol KCl ogni mol NaCl. Poi lo studente risolve un secondo problema così formulato: qual è la percentuale di cloro contenuto in un miscuglio con un rapporto molare di 1,830 mol KCl ogni mol NaCl?

1,830 mol KCl ≡ 136,4 g KCl ≡ 64,87 g Cl
1,000 mol NaCl ≡ 58,44 g NaCl ≡ 35,45 g Cl
64,87 g Cl + 35,45 g Cl = 100,3 g Cl

E trova che la percentuale di cloro è 51,49%. Infine risolve un terzo problema: per arrivare ad un miscuglio che contiene il 60,00% di cloro, è necessario aumentare NaCl o KCl? Moltiplica la massa di KCl nel miscuglio per un coefficiente α in modo che il miscuglio ottenuto contenga il 60,00% di cloro:

(136,4· α g KCl + 58,44 g NaCl) :
: 100,0 g msg =
= (64,87· α+ 35,45) g Cl : 60,00 g Cl
$\alpha = 2{,}275 \cdot 10^{-2}$

Per avere un miscuglio che contiene il 60,00% di cloro è necessario avere il seguente rapporto in moli: 1,000 mol NaCl ogni $1,830 \cdot 2,275 \cdot 10^{-2}$ = $= 4,163 \cdot 10^{-2}$ mol KCl.

VERIFICA

1,000 mol NaCl ≡ 58,44 g NaCl
$4,163 \cdot 10^{-2}$ mol KCl ≡ 3,104 g KCl

Verifica che il miscuglio soddisfa le richieste del problema e calcola la massa di NaCl da aggiungere:
58,44 g NaCl : 3,104 g KCl =
=y g NaCl : 0,700 g KCl
y = 13,18 g NaCl (nel msg con 0,700 g KCl)
13,18 g NaCl - 0,300 g NaCl = 12,88 g NaCl da aggiungere

Un ragionamento analogo si può impostare pensando di aumentare NaCl(6). Lo studente avrebbe trovato questa strada per risolvere il problema se non avesse fatto all'inizio un ragionamento che a noi esperti appare inusuale? Per gli studenti la soluzione di un problema alle volte può essere un processo tortuoso; attraverso tentativi vari seguono una intuizione che non è sempre quella felice(7).
Per questo problema dagli studenti ho avuto 22 soluzioni; una sbagliata è stata fornita da un gruppo di 4. Calcolano la quantità di cloro sul miscuglio iniziale e si chiedono quanto NaCl è necessario aggiungere a questo miscuglio per ottenere quanto richiesto dal problema:

0,6000 g Cl - 0,5149 g Cl =
$=8,510 \cdot 10^{-2}$ g Cl
$8,510 \cdot 10^{-2}$ g Cl ≡ $2,401 \cdot 10^{-3}$ mol Cl≡
$\equiv 2,401 \cdot 10^{-3}$ mol NaCl
$2,401 \cdot 10^{-3}$ mol NaCl ≡ 0,1403 g NaCl da aggiungere a 1,000 g di msg

L'errore è dovuto al fatto che non tengono conto dell'aumento di massa del miscuglio ottenuto.

Metodi numerici

Anche se il procedimento seguito poco sopra appare poco produttivo per impostare la soluzione, non necessariamente conduce ad un punto morto e uno studente ha percorso questa via fino in fondo. Ha calcolato la quantità di NaCl come il gruppo precedente: 0,1403 g NaCl da aggiungere. Il miscuglio ottenuto contiene 0,6000 g Cl, ma la massa è: 1,000 g msg + 0,1403 g NaCl = 1,140 g msg, che di cloro ne contiene in percentuale:
1,140 g msg : 0,6000 g Cl =
=100,0 g msg : y g Cl
y = 52,63% Cl
E' necessario ripetere il tentativo:
0,6000 g Cl - 0,5263 g Cl =
$=7,370 \cdot 10^{-2}$ g Cl
58,44 g NaCl : 35,45 g Cl =
= x g NaCl : $7,370 \cdot 10^{-2}$ g Cl
x = 0,1215 g NaCl da aggiungere
Si ottiene un miscuglio di 1,262 g che contiene 0,6737 g Cl.
1,262 g msg : 0,6737 g Cl =
= 100,0 g msg : y g Cl
y = 53,38% Cl

La convergenza è lenta ed è necessario un grande numero di iterazioni. Lo studente è arrivato a determinare la quantità di NaCl da aggiungere: 11,96 g. Fare una lunga serie di calcoli numerici senza avere esperienza e conoscenza del processo che si esegue significa muoversi sotto la spinta di una intuizione, sperimentare e scoprire personalmente come il metodo funziona e se il metodo funziona. Lo studente che ha eseguito questi calcoli incontra normalmente difficoltà a risolvere i problemi; proviene dall'istituto tecnico per geometri e come voto di diploma ha 70/100. Per fare quanto ha fatto era necessaria una forte motivazione: il calcolo ha richiesto diverse ore, e non c'era premio alcuno che invogliasse ad arrivare alla soluzione. Si potrebbe etichettare il lavoro fatto dallo studente come "costruttivismo"(8)? Certamente lo studente ha utilizzato uno strumento a lui sconosciuto comprendendo il modo di utilizzarlo. Con un programma di calcolo si ottiene il risultato numericamente corretto, ma sono necessarie migliaia di iterazioni. Un programma di calcolo numerico molto più efficiente è il seguente:

```
        GRmsg# = 1#
        GRNaCl# = .3#
        I% = 0
        DELTA# = 10#
        CLS
100     I% = I% + 1
        GRmsg# = GRmsg# + DELTA#
        GRNaCl# = GRNaCl# + DELTA#
        GRCl# = (GRNaCl# / 58.44) * 35.45+ .3329
        FRCl# = GRCl# / GRmsg#
        IF FRCl# > .6# THEN
                GRmsg# = GRmsg# - DELTA#
                GRNaCl# = GRNaCl# - DELTA#
                DELTA# = DELTA# / 2
        END IF
        IF DELTA# < .0000000001# THEN 500
        GOTO 100
500     PRINT "   Numero di iterazioni = "; I%
        PRINT "   Grammi NaCl aggiunti = "; GRNaCl#
        PRINT "   Grammi msg = "; GRmsg#
        PRINT "   Frazione Cl = "; FRCl#
        END
```

Dopo 55 iterazioni il calcolo converge al valore 13,887 g msg e sono stati aggiunti 12,887 g NaCl.
Ho proposto questo problema verso la fine del corso, mentre gli studenti lavoravano alla risoluzione dei problemi sugli equilibri ionici. Questo problema è strutturalmente analogo al problema: Si hanno 800 mL di HCl 0,100 M. Calcolare i millilitri di NaOH 0,100 M da aggiungere per avere pH = 10,000. Ho ricevuto soltanto 7 soluzioni per quest'ultimo problema; questo indica che esso è stato percepito essere più difficile dagli studenti.
Estesi studi fatti circa la possibilità di utilizzare soluzioni già note in nuove situazioni indicano che gli studenti hanno difficoltà a riconoscere l'esistenza di analogie, soprattutto se sono assenti analogie superficiali tra i due problemi [6]. E' pur vero che gli studenti hanno fatto tutto da soli, ma l'apprendimento per essere significativo deve essere "trasferibile".

Ringraziamenti

Ringrazio gli studenti del corso di ingegneria Ambiente e Territorio (a. a. 1999-2000) per il loro entusiasmo nella risoluzione dei problemi e per le centinaia di soluzioni che mi hanno donato.

Note

(1)DFP significa definizione formale del problema; (2)SIA sta per selezione di informazioni appropriate; (3)CVI sta per combinazione delle varie informazioni.
(4) Per verifica si intende la prova numerica della bontà del risultato. I metodi generali di verifica si basano: i) sui bilanci di massa e di carica; ii) sull'impiego di relazioni indipendenti e su soluzioni alternative; iii) sul con-

trollo di quantità invarianti. E' sempre utile rispondere alle seguenti domande: 1) il risultato ottenuto ha significato? 2) Il segno e l'ordine di grandezza del risultato hanno senso? 3) Le unità di misura del risultato sono corrette? L. Cardellini, Improve your skills in problem solving: Verify your result, in C. L. Fogliani, (Ed.), *Australian Chemistry Resource Book*, 1997, 16, 115-123; L. Cardellini, *Problemi chimici*, 2a ed., Libreria Scientifica Ragni: Ancona, 1999.

(5) "A *conflict* exists whenever *incompatible* activities occur.", M Deutsch, Conflicts: Productive and Destructive, *J. Social Issues*, 1969, **XXV**, p. 7. Un conflitto cognitivo sorge quando due idee incompatibili vengono nella mente accettate simultaneamente, oppure quando nuove informazioni non sono in accordo con quanto già si conosce. D. W. Johnson, R. T. Johnson, Conflict in the Classroom: Controversy And Learning, *Rev. Educ. Res.*, 1979, **49**, p. 53.

(6) Il procedimento seguito dallo studente non illustra forse ciò che Lakatos chiama lo slittamento (meglio: spostamento) progressivo del problema (problemshift)? I. Lakatos, La falsificazione e la metodologia dei programmi di ricerca scientifici, in I. Lakatos, A. Musgrave, (Eds), *Critica e crescita della conoscenza*, Feltrinelli: Milano 1993, p. 194.

(7) "Textbook solutions to problems and solutions presented by teachers in class are almost always efficient, well-organized paths to correct answers. They represent algorithms developed after repeated solutions of similar problems.", J. D. Herron, What Can We Do About Sue: A Case Study of Competence, *J. Chem. Educ.*, 1986, **63**, 530. "The examples [riportati nei libri di testo] provide no indication of the false starts, dead ends, and illogical attempts that characterize problem solving in its early stages, nor do they reveal the substantial time and effort expended to construct a useful representation of a problem before the systematic solution shown in examples is possible.", J. D. Herron, Research in Chemical Education: Results and Directions, in M. Gardner, J. G. Greeno, F. Reif, A. H. Schoenfeld, A. Disessa, E. Stage, (Eds), *Toward a scientific practice of science education*, Erlbaum: Hillsdale, N. J., 1990, p. 35.

(8) "... one of the most important features of radical constructivism is the sharp distinction between teaching and training. The first aims at generating *understanding*, the second at *competent performance*.", E. von Glasersfeld, Introduction, in E. von Glasersfeld, *Radical Constructivism in Mathematics Education*, Kluwer: Dordrecht, 1991, p. xvi.

Bibliografia

[1] L. Cardellini, R. M. Felder, L'apprendimento cooperativo. Un metodo per migliorare la preparazione e l'acquisizione di abilità cognitive negli studenti, *La Chimica nella Scuola*, 1999, **XXI**, 18-25.

[2] L. Cardellini, Il metodo ASV per risolvere i problemi chimici, *La Chimica nella Scuola*, 1984, **VI**, 4-6.

[3] J. W. Forrester, *Principi dei sistemi*, Etas kompass: Milano 1974, cap. 2.

[4] L. Cardellini, Il metodo Hansel e Gretel, *La Chimica nella Scuola*, 1996, **XVIII**, 58-59.

[5] Calcoli stechiometrici, *La Chimica nella Scuola*, 2000, **XXII**, 18-19.

[6] S. K. Reed, G. W. Ernst, R. Banerji, The Role of Analogy in Transfer Between Similar Problem States, *Cognit. Psychol.*, 1974, **6**, 436-450; M. L. Gick, K. J. Holyoak, Analogical problem solving, *Cognit. Psychol.*, 1980, **12**, 306-355; D. Gentner, D. R. Gentner, Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity, in D. Gentner, A. L. Stevens, *Mental models*, Erlbaum: Hillsdale, N. J., 1983, p. 99-107; S. K. Reed, A. Dempster, M. Ettinger, The usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems, *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cognit.*, 1985, **11**, 106-125; H. Kaney, *Problem Solving: a Cognitive Approach*, Open University Press: Milton Keynes, 1986, Part II; M. L. Gick, K. J. Holyoak, Analogical problem solving, in A. M. Aitkenhead, J. M. Slack, (Eds), *Issues in cognitive modelling*, Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1987, p. 279; B. H. Ross, Distinguishing Types of Superficial Similarities: Different Effects on the Access and Use of Earlier Problems, *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cognit.*, 1989, **15**, 456-468.

Dalla Redazione di CnS

Da questo numero *CnS-La Chimica nella Scuola* cambia la sua veste tipografica introducendo la stampa a colori, novità da più parti sollecitata. Questa realizzazione, e il corrispondente impegno economico, dimostrano l'attenzione della S.C.I. ad offrire un prodotto editoriale al passo con i tempi.

Il direttore e la redazione di CnS, unitamente ai Soci e al direttivo della Divisione di Didattica, desiderano ringraziare il Presidente della S.C.I. **Prof. Domenico Spinelli** per la sua sensibilità, per altro già dimostrata in varie occasioni, verso i problemi della didattica e della immagine della chimica mediante la divulgazione tramite le testate delle riviste della S.C.I..

UNO SGUARO DALLA CATTEDRA

Alziamoci in piedi!

Con una punta di snobismo intellettuale di tanto in tanto amo rimettere in discussione i miei modi abituali di fare insegnamento e verificare le cose che ho dato per scontate.

Cerco un antidoto contro la *routine* professionale, contro la tendenza, molto forte in un lavoro pieno di incertezze e psicologicamente logorante, ad attestarsi su false sicurezze ed a calcificarsi in procedure consolidate.

Non posso ignorare le penose figure di alcuni colleghi, fortunatamente dei casi limite, i quali all'inizio della loro vita di insegnanti si aggrappano ai loro appunti di studenti universitari e con quelli navigano per una intera vita professionale.

Quando vanno in pensione, quei quadernetti sono consunti e ingialliti e loro poveretti recano sul viso i segni devastanti della depressione.

Viceversa bisogna prevedere di non rimanere sempre timidamente rannicchiati dietro la nostra cattedra,di alzarci in piedi affinché gli altri riconoscano la fondamentale importanza del nostro lavoro.

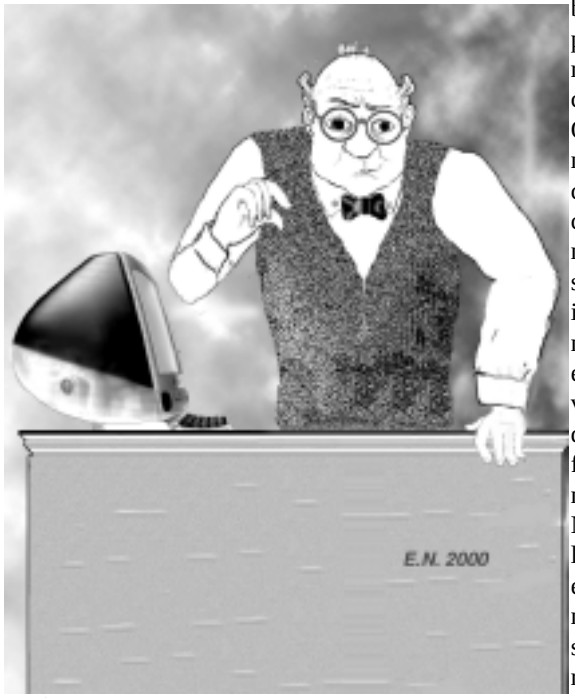
Si richiede uno scatto di orgoglio.

In didattica nessuno è depositario del Verbo e le intelligenti elaborazioni di alcuni ricercatori stentano a confrontarsi con l'esperienza diretta sul campo.

Mi ha molto colpito l'affermazione di J. Brunner, già citata in questa rubrica, quando dice che "…è sorprendente, in una certa misura scoraggiante notare come i dibattiti sull'educazione, che si sono susseguiti a ritmo incalzante,…siano sostanzialmente disattenti all'intima natura dell'insegnamento e dell'apprendimento scolastico…".

Molti di noi sono viceversa depositari di un importante patrimonio di conoscenze ma non hanno mai trovato il vigore mentale necessario a condurre, dopo essersi impadroniti dei linguaggi e dei fondamenti della didattica, una analisi approfondita.

Insomma l'insegnante-ricercatore potrebbe essere una figura centrale per il mondo della didattica, anche perché la Didattica Generale, analogamente alla Chimica Generale, rischia di peccare di genericità e, se vogliamo entrare nella carne viva dei processi di insegnamento-apprendimento, dobbiamo attestarci sul versante della didattica disciplinare, nella fattispecie della Didattica Chimica.



L'insegnante-ricercatore deve prendersi le sue responsabilità, sulla base della sua insostituibile esperienza deve, dopo adeguato studio, saper scegliere.

A partire da questa riflessione mi sembra di poter rifiutare qualunque affermazione assolutistica nel campo della didattica, soprattutto perché l'interazione interpersonale scatena un tale turbinio di variabili che sarebbe semplicistico pensare di poter ingabbiare questi processi mediante delle semplici regolette; molte delle teorie, che sono state avanzate, contengono verità importanti ma parziali, verità che vanno temperate alla luce dell'esperienza didattica.

Qualunque insegnante esperto può rilevare come le teorie piagettiane, pur nella loro monumentale omnicomprensività, soffrono di un eccesso di mentalismo che non tiene nel dovuto conto l'influenza del contesto ed sono carenti sul piano dei riscontri. Questo non toglie che siamo di fronte ad una pietra miliare della psicologia cognitiva e dell'analisi dei processi di apprendimento.

In ultima analisi bisogna bandire le mode didattiche per lavorare sulle teorie di cui disponiamo e cercare di trarne il:massimo profitto.

Siamo destinati ad influire, si spera in modo positivo, sulla mente delle persone per cui dobbiamo fare i conti con la vertiginosa complessità del cervello, un misterioso computer rigorosamente analogico il quale, pur di mantenere un funzionamento flessibile, si permette il lusso di compiere molti errori, salvo poi correggerli in modo assolutamente creativo.

Questo non significa che dobbiamo rinunciare ad intervenire: come sempre, di fronte a sistemi complessi, dobbiamo capire i modi che hanno di autorganizzarsi, dobbiamo cogliere certe invarianti del processo, dobbiamo intervenire in ambito ristretto e con tecniche sperimentali, ogni volta osservandone gli effetti, dobbiamo capire che noi stessi facciamo parte del processo che mettiamo in moto.

Non dimentichiamoci inoltre che la scienza non esiste in natura, esiste dentro di noi come strumento della mente, così come esistono, tanto per usurpare le parole di Brunner, infiniti modi diversi per apprendere.

Il discente raggiunge la conoscenza solamente nei suoi termini, per lui conoscere è una avventura che porta a spiegare nel modo più semplice ed elegante le cose più complicate e il nostro compito più precipuo consiste nell'aiutarlo e nell'incitarlo a intraprendere questa sorta di viaggio nell'intelletto.

Nascono a questo punto una serie di domande.

Come può fare tutto questo un docente che ha smarrito curiosità ed entusiasmo?

Come può essere convincente un docente che non si identifica nella propria cultura?

Con quali strumenti possiamo efficacemente aiutare i nostri discepoli nella loro avventura intellettuale?

Qualche insegnante, di quelli che grondano certezze, mi risponderebbe: il curricolo!

Bene, sentite che cosa ne scrive Brunner.
"Lo strumento che consente di aiutare e incoraggiare un discente viene chiamato "curricolo"; abbiamo ormai imparato che il curricolo per antonomasia non esiste. Perché in realtà il curricolo è simile ad una conversazione animata su di un argomento che, per quanto si possano porre dei limiti, non può mai essere definito fino in fondo".
In sostanza il curricolo esiste innanzitutto come atto formale, un documento di indirizzo, una cornice che delimita il campo della nostra azione, che impedisce d'improvvisare, di disperdersi in mille rivoli e di inseguire futili momenti di entusiasmo.
Ma il curricolo per mettere in moto i meccanismi psicologici dell'apprendimento richiede di essere animato, di essere tradotto in atto vitale, proprio come un copione teatrale richiede di essere tradotto in rappresentazione.
Rimane la fondamentale importanza dei tradizionali strumenti di animazione cioè immagini, film, dimostrazioni, attività di laboratorio, programmi interattivi al computer, ma tutto questo fa da contorno al raccontare, al conversare oltre che alla lettura dei testi da parte del discente. È importante non confondere i supporti didattici con l'arte della comunicazione.
A conferma di quanto detto sopra sta il fatto che, dopo fiumi di retorica sulle ricerche da parte dell'alunno e nonostante la moda imperante della multimedialità, continua a prosperare come fondamentale il metodo socratico del conversare ossia la maieutica che aiuta lo studente a prendere coscienza delle conoscenze che si vanno formando nella sua mente.
In ogni caso le metodologie didattiche, oltre che da supporto, agiscono anche da correttivo, temperando gli eccessi di soggettivismo, così come il contesto concorre a connotare e a dare spessore all'apprendimento.
Ogni nostra comunicazione è ricchissima di messaggi di natura diversa, il pensiero è una conversazione interiore e, raccontando i fatti, noi raccontiamo noi stessi, esplicitando appunto quella conversazione interiore. Noi raccontiamo le nostre immagini mentali, i nostri modelli e, facendo questo, continuiamo ad essere, con buona pace di Bill Gates, lo strumento fondamentale di comunicazione didattica.
Se sapremo condurre con efficacia il nostro racconto, i nostri allievi più intelligenti sapranno perdonare le nostre *défaillance* o i malumori di una mattinata.

Ermanno Niccoli

CONVEGNI E CONGRESSI

Consiglio della Divisione di Didattica Chimica della FECS

Il consiglio della Division of Chemical Education della Federation of European Chemical Societies (FECS) si è riunito a Ioannina (Grecia) il 25 settembre 1999 al termine della quinta conferenza ECRICE. Erano presenti 14 delegati, in rappresentanza delle società chimiche dei seguenti paesi: Belgio, Cipro, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Olanda, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Repubblica Ceca, Svezia, Ungheria. Presiedeva il Dr. Michael Gagan della Royal Society of Chemistry.
A parte le questioni di interesse interno alla Divisione o di ordinaria amministrazione sono stati trattati i seguenti temi:
European Chemistry Thematic Network (ECTN) - L' ECTN, nato qualche anno fa col programma di formulare proposte sui contenuti minimi dei curricoli di discipline chimiche nelle università europee, corre il rischio di dover concludere la sua attività entro il 1999 per mancanza di fondi. Se questo dovesse avvenire, la Divisione di Didattica Chimica della FECS potrebbe prendere in considerazione l'idea di portare avanti almeno una parte del progetto dell'ECTN.
Eurocorso per insegnanti di chimica - Questo progetto, nato per iniziativa del Prof. Macej Januk dell'Università di Lublino, ha ottenuto un finanziamento di 20.000 Euro attraverso il programma Socrates. Il corso dovrebbe svolgersi ogni anno in un diverso paese europeo e accogliere 20 allievi, metà dell'Europa Orientale e metà dell'Europa Occidentale; ciascuno dei due gruppi dovrebbe essere formato da insegnanti di almeno tre paesi. Anche il collegio dei docenti dovrebbe avere una composizione internazionale. La prima edizione del corso è prevista per il giugno 2000 a Lublino.
2° ECCE/6° ECRICE - La Società Chimica Portoghese e la Divisione di Didattica Chimica della FECS si sono accordate per tenere la prossima conferenza congiunta ECCE/ECRICE nel settembre 2001 ad Aveiro, città costiera situata a circa 200 km a Nord di Lisbona. Aveiro è sede di una nuova università, che comprende anche un istituto per la formazione degli insegnanti. E' possibile che partecipi all'organizzazione della conferenza anche la Divisione di Chimica Ambientale della FECS, in considerazione del forte impegno del Portogallo nella prevenzione dell'inquinamento.
Per quanto riguarda il futuro svolgimento di ECCE e ECRICE, si porrà il problema di evitare la coincidenza con il congresso dell'European Science Education Research Association (ESERA), come è già avvenuto nel 1997. La soluzione consisterà probabilmente nello spostamento dell'ECCE/ECRICE agli anni pari. A questo proposito vale la pena di ricordare che la prima conferenza ECRICE si tenne in un anno pari (Montpellier 1992), ma subito dopo si passò agli anni dispari (Pisa 1993) per evitare la sovrapposizione con l'International Conference on Chemical Education (ICCE). Forse è arrivato il momento di cominciare a pensare a una riduzione del numero dei congressi.
Repertorio dei ricercatori in didattica della chimica - A cura della Divisione Didattica della FECS, è in corso la preparazione di un repertorio europeo dei ricercatori in didattica della chimica con l'intenzione di renderlo pubblico mediante Internet. Le informazioni più utili, oltre al nome, sono e-mail, istituzione di appartenenza, città, nazione e possibilmente numero di fax. **Coloro che sono interessati a comparire nel repertorio sono invitati a fornire questi dati al sottoscritto, che provvederà a trasmetterli al Dr. Gagan.**

P. Mirone

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

CnS-La Chimica nella Scuola si propone innanzitutto di essere un ausilio di ordine scientifico e professionale per i docenti della scuola. Essa si offre anche come luogo di confronto delle idee e delle esperienze fra docenti delle scuole di ogni ordine e grado e universitari, sono pertanto ben accetti quei contributi che:
a) trattino e/o rivisitino temi scientifici importanti alla luce dei progressi sperimentali e teorici recenti;
b) illustrino varie esperienze didattiche e di lavoro anche con il contributo attivo dei discenti;
c) presentino proposte corrette ed efficaci su argomenti di difficile trattamento didattico;
d) trattino innovazioni metodologiche, con particolare attenzione alle attività sperimentali nonché agli aspetti della valutazione.
Sono benvenute le lettere brevi che arricchiscano il dibattito o la riflessione sui temi della rivista. La rivista si articola in tre settori: divulgazione e aggiornamento, ricerca e rubriche.
Quest'ultimo settore comprende rubriche sia di informazioni sia scientifico-culturali: Giochi e Olimpiadi della Chimica e Ambiente ecc..
I testi devono essere inviati in **triplice copia** al direttore: **Prof. Paolo Mirone**, Dipartimento di Chimica, via Campi 183, 411 00 Modena, oppure direttamente alla **Redazione di *CnS***, Dipartimento di Chimica "G.Ciamician", via Selmi 2, 40126 Bologna.
I testi di articoli di divulgazione e aggiornamento possono essere spediti direttamente, in triplice copia al responsabile dei settore: **Prof. Paolo Edgardo Todesco**, Dipartimento di Chimica Organica, Facoltà di Chimica Industriale, viale Risorgimento 4, 40136 Bologna.
La redazione informerà il mittente dell'avvenuta ricezione del plico.
Gli articoli devono essere corredati di un riassunto esplicativo dei contenuto in lingua italiana e in lingua inglese (massimo 600 battute, circa 10 righe). Chi avesse difficoltà a redigere il riassunto in inglese può inviarlo in italiano. Si suggerisce di strutturare gli articoli di ricerca secondo le consuetudini delle riviste scientifiche: introduzione, parte sperimentale, esposizione e discussione dei risultati ottenuti, conclusione.
Gli Autori dei lavori sono tenuti a non inviare ad altri organi di stampa testi il cui contenuto corrisponda del tutto o in parte a quelli inviati a CnS - La Chimica nella Scuola.

TESTI
I testi devono essere trasmessi in tre copie, complete di tabelle e figure. Devono essere composti con sistema "word processing" (i sistemi accettati sono elencati al termine di queste istruzioni) con interlinea doppia, su cartelle dì 60 battute per 30 righe (1800 battute).
Gli Autori, all'atto dell'accettazione dovranno inviare il testo definitivo su dischetto, in formato 3" 1/2 ad alta densità.
In alternativa al dischetto il contributo può essere inviato alla redazione per via elettronica al seguente indirizzo:
fpcns@ciam.unibo.it
Gli articoli non devono superare di norma le 20 cartelle (comprensive di tabelle e formule) oltre la bibliografia.
In considerazione dei limitato numero di pagine della rivista, qualora un articolo ecceda tale lunghezza la direzione si riserva di rifiutarlo o di chiederne un adeguamento accorciamento.
Le comunicazioni brevi devono essere limitate a 1200 parole, incluso lo spazio per eventuali tabelle.
Le lettere al direttore devono essere limitate, di norma, a 1200 parole e non possono contenere tabelle; per le stesse è prevista la pubblicazione entro un mese dall'accettazione.
La prima pagina dei testo di un articolo deve contenere:
- il **titolo**, chiaramente esplicativo dei contenuto dei lavoro, che non deve superare le 50 battute (in caso contrario la redazione si riserva di modificarlo).
- Il **nome** (per esteso) e il **cognome** e l'**istituzione di appartenenza** di ciascun Autore. 1 richiami bibliografici nel testo devono essere numerati progressivamente, con numeri arabi tra parentesi quadrate. La bibliografia va riportata in fondo al testo, nello stesso ordine, con le seguenti norme:
- lavori pubblicati su riviste: la bibliografia dev'essere essenziale e riportata solo se effettivamente consultata dall'Autore;
- libri, trattati, enciclopedie: iniziali e cognomi degli Autori seguiti da virgola, titolo dell'opera, con la sola prima iniziale maiuscola, segue la casa editrice, la sede principale di questa, l'anno di pubblicazione. Se la citazione fa riferimento ad una o poche pagine dell'opera, queste devono essere riportate in fondo alla citazione stessa;
- documenti senza Autore ma editi "a cura di": titolo dell'opera, seguito da "a cura di" tra parentesi tonde (se la bibliografia si riferisce ad un testo scritto in italiano) oppure da "Ed." tra parentesi tonde (se si riferisce a un testo in inglese); seguono la virgola e le altre indicazioni come sopra;
- le comunicazioni a congressi devono recare, nell'ordine: iniziali e cognomi degli Autori, seguiti dalla virgola, dall'indicazione dei congresso nella lingua originale, luogo e data dei medesimo, numero della comunicazione (o indicazione dei numero della pagina iniziale se si citano gli Atti dei congresso).
Riportiamo alcuni esempi:
1)W.M. Jones, C.L. Ennis, *J. Am Chem. Soc.*, 1969,**91**,6391.
2)A.J. Bard, L.R. Faulkner, *Electrochendcal methods, fundamentals and applications*, Wiley, New York,1980.
3)M. Arai, K. Tomooka, M. Nakata, M. Kimoshita, 49th National Meeting of Chemical Society of Japan, Tokio, Apr. 1984.

UNITA'DI MISURA, SIMBOLI E ABBREVIAZIONI
Le unità di misura devono essere quelle del S.I.
I simboli devono essere quelli della IUPAC. E' ammesso il ricorso alle abbreviazioni e alle sigle generalmente note (IR, UV GC, NMR, ecc.). Sigle o abbreviazioni particolari devono essere esplicitate per esteso alla prima citazione. La nomenclatura deve essere quella della IUPAC, nella sequenza latina (es. carbonato di bario e non bario carbonato, idruro di litio alluminio e non litio alluminio idruro, me.); è tollerato il ricorso al nome tradizionale per i composti più comuni: acido acetico, acido oleico, anidride solforosa, glicerolo, ecc.

FORMULE CHIMICHE E FORMULE MATEMATICHE
Le formule chimiche e matematiche dovranno preferibilmente essere realizzate in CHEMTEXT e fornite dagli Autori su dischetto salvate in WMF. Chi non disponesse di questo programma dovrà fornire le formule, sia chimiche che matematiche su carta utilizzando preferibilmente stampanti laser o a getto d'inchiostro. E' indispensabile che le formule siano contenute in un formato che abbia per base 90 mm. o solo eccezionalmente 180 mm. e che siano assolutamente omogenee tra loro per carattere e per corpo tipografico

FIGURE
Le figure al tratto (grafici, schemi di apparecchi, di processi ed impianti ecc.) devono essere forniti su lucido e devono essere omogenee tra loro dal punto di vista del carattere utilizzato e dei corpi tipografici.
Le immagini la cui base non superi gli 84 mm o, in caso di immagini la cui riproducibilità necessiti di un formato maggiore, 178 mm.
Qualora gli Autori dispongano di disegni realizzati con sistemi computergrafici sono invitati ad allegarli al testo indicando chiaramente il sistema impiegato. Si sconsiglia l'invio di spettri (IR, UV MS, ecc.) e tracciati GC, se non assolutamente indispensabili per la comprensione dei testo.
Qualora il formato di una figura vada ridotto, i caratteri delle eventuali iscrizioni dovranno avere dimensioni tali da essere chiaramente leggibili anche dopo la riduzione.
Le figure dovranno essere numerate e recare una didascalia esplicativa. Gli Autori devono indicare in margine al testo le posizioni dove inserire le singole figure.

TABELLE
Anche le tabelle devono essere numerate e recare una didascalia, e gli Autori ne indicheranno la posizione in margine al testo.

SISTEMI DI WORD PROCESSING
I testi devono essere consegnati su dischetto scritti (o salvati) in formato Word per Windows 7.0 o versioni precedenti.
Le immagini in formato TIF, TIFF o WMF.
Le stesse specifiche valgono per l'invio mediante E-mail