

ISSN 0392-5942

Anno XXVII, n. 4-5, 2007

Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

C_nS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

MOLE E UNITÀ
DI
MASSA ATOMICA

MOTO
LAMINARE E TURBOLENTO

PROBLEM SOLVING
IN CHIMICA

Spedizione in abbonamento postale art. 2 comma 20/C legge 662/96 Filiale di Bologna

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



LA CHIMICA NELLA SCUOLA

Anno XXIX
Ottobre - Dicembre 2007

Direttore responsabile

Pierluigi Riani

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

Past-Editor

Paolo Mirone

e-mail: paolo.mirone@fastwebnet.it

Redattore

Pasquale Fetto

Via Carli Iussi, 9
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. 051450053 cell. 3280221434
e-mail: pasquale.fetto@didichim.org

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

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

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

Ufficio Abbonamenti

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

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

SOMMARIO

EDITORIALE

Riemerge il curriculum e si allunga l'obbligo d'istruzione
di **Fabio Olmi** **115**

DALLA COPERTINA

Francesco Selmi
di **Gianmarco Ieluzzi** **118**

ESPERIENZE E RICERCHE

Lo "studio di caso", metodologia efficace nella didattica
della chimica (parte I) **121**
di **Maria Antonietta Carrozza, Gianni Michelon**

Il Problem Solving in chimica **135**
di **Norman Reid, Liberato Cardellini**

CONCETTI CHIAVE DELLA CHIMICA

Gli orbitali nell'insegnamento e nella ricerca **145**
di **Giuseppe Del Re**

DALLE SSIS

Un approccio cooperativo all'insegnamento della chimica
1. La struttura dell'intervento didattico **149**
di **Antonella Andracchio, Paola Ambrogi,**
Roberto Andreoli, Paola Veronesi, Sergio Zappoli

GRUPPO GIOVANI

Da Democrito a Dalton: un percorso di 2000 anni
per definire il concetto di atomo. **157**
di **Marco Franceschin**

LABORATORIO E DINTORNI

Moto laminare o turbolento? **167**
di **Antonella Casarini, Stefania Nesi**

RUBRICHE

LETTERE AI LETTORI **171**
Un piagetiano quasi pentito
di **Ermanno Niccoli**

LETTERE ALLA REDAZIONE **173**

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

Riemerge il curricolo e si allunga l'obbligo d'istruzione

Sia pure con una certa lentezza, e talvolta con metodi di stesura non condivisibili, il nuovo governo ha varato con D.M. 31 Luglio 2007 un documento denominato "Indicazioni per il curricolo per la scuola dell'infanzia e per il primo ciclo di istruzione"; a Settembre, all'inizio dell'anno scolastico, questo documento è stato consegnato a tutti i docenti della scuola primaria e secondaria di I grado sottoforma di libretto. E' stato varato poi con D.M. 22 Agosto 2007 il "Regolamento recante norme in materia di adempimento dell'obbligo di istruzione" rivolto ai primi bienni delle scuole secondarie di II grado.

Per quanto riguarda le "Indicazioni...", già dal titolo emerge chiaramente la riaffermazione di una parola-chiave, il curricolo. Questa parola era volutamente quasi del tutto scomparsa nelle "Indicazioni nazionali..." morattiane, appartenenti ad una visione della scuola totalmente diversa: gli OSA prescrittivi rappresentavano di fatto un qualcosa di rigido assai simile ai vecchi programmi. Le nuove "Indicazioni..." costituiscono finalmente un documento di stile sobrio nel quale

a) si ribadiscono alcuni punti essenziali pienamente condivisibili, quali ad esempio il chiaro ancoraggio della scuola ai principi della Costituzione e una decisa riaffermazione dell'autonomia scolastica (i docenti sono "...chiamati ad assumere specifiche scelte relative a contenuti, metodi, organizzazione e valutazione..");

b) si forniscono importanti indicazioni metodologiche (valorizzazione dell'esperienza e delle conoscenze degli alunni "...per ancorarvi i nuovi contenuti");

c) si suggerisce di favorire l'esplorazione e la scoperta, in modo che la problematizzazione svolga una funzione insostituibile.

Nell'Area Matematico-scientifico-tecnologica, a parte alcune traguardi che appaiono troppo ambiziosi, sono presenti importanti affermazioni rivelatrici di un approccio alle scienze sperimentali non strumentale. Leggiamo che "Tutte le discipline dell'Area hanno come elemento fondamentale il laboratorio, inteso sia come luogo fisico (aula o altro spazio specificamente attrezzato), sia come momento in cui l'alunno è attivo, formula le proprie ipotesi e ne controlla le conseguenze, progetta e sperimenta, discute e argomenta le proprie scelte..." Quindi no ad un apprendimento trasmissivo, ma anche no ad uno sperimentalismo fine a se stesso e sì ad una laboratorialità in senso lato rivolta alla concettualizzazione e alla metacognizione.

Per quanto riguarda le "Scienze naturali e sperimentali" viene immediato osservare il titolo inusuale dato a questo ambito: forse sarebbe stato meglio parlare di Scienze sperimentali, anche per riferimento al Piano nazionale "Insegnare Scienze Sperimentali"(ISS). Questo piano, varato dall'MPI in collaborazione con le Associazioni scientifiche disciplinari, tra cui la DD/SCI, è ormai in atto in tutto il Paese.

Mettendo al bando l'enciclopedismo dei contenuti che ancora attraversa la nostra scuola, si sottolinea poi la necessità di "...selezionare alcuni temi sui quali lavorare a scuola in modo diretto e progressivamente approfondito...". Purtroppo, poco più avanti si afferma che "A questi temi-guida si potranno affiancare argomenti trattati in modo indiretto...": ecco rispuntare il descrittivo, narrativo libro di testo! Come abbiamo già accennato, in conclusione troviamo un'importante considerazione: "I contenuti specifici che di seguito saranno suggeriti vanno intesi come esempi di scelte possibili da effettuarsi nell'ambito dell'autonomia scolastica".

Seguono i "Traguardi per lo sviluppo delle competenze..." e gli "Obiettivi di apprendimento..." per il termine delle classi terza e quinta della scuola primaria e della terza della scuola secondaria di I grado.

Finalmente non più OSA! La formulazione di obiettivi specifici viene giustamente lasciata ai soli docenti nell'ambito della messa a punto dei propri percorsi didattici nel pieno rispetto dell'autonomia scolastica. Per quanto riguarda i "Traguardi.." si può osservare che la metà di essi (in totale 8) può essere considerata adeguata e condivisibile ma il terzo (riferimento alle situazioni problematiche), il sesto (visione del proprio corpo), il settimo (visione dell'ambiente di vita locale e globale) e l'ottavo (problemi legati all'uso della scienza) ci sembrano decisamente troppo avanzati per l'età degli allievi a cui si rivolgono.

Gli "Obiettivi di apprendimento.." sono nel loro insieme troppi e non equilibrati tra loro: troppo stringati per quanto riguarda Fisica e Chimica, troppo ampi per Astronomia e Scienze della Terra, decisamente sovradimensionati per Biologia. Appaiono formulati, poi, in modo quasi sempre approssimativo e lacunoso e non mostrano un chiaro ancoraggio ai nuclei concettuali forti che potrebbero essere affrontati al livello scolastico di riferimento. A livello disciplinare sembra che ciascun membro chiamato alla stesura degli obiettivi abbia lavorato in fretta e per proprio conto, senza tener presenti le indicazioni di merito che le varie Associazioni scientifiche da anni vanno sottolineando. È mancata una formulazione attenta e seria che poteva essere garantita richiedendo il contributo delle Associazioni scientifiche disciplinari (accreditate tra l'altro al Ministero), chiamandone alcuni rappresentanti qualificati per i diversi livelli scolari e invitandoli a lavorare secondo criteri predefiniti (ad esempio, formulare al massimo due obiettivi di apprendimento per ambito disciplinare...). Si è preferito invece ricorrere alla consultazione scoordinata dei soliti (pochi) "noti"... Non è qui il caso di entrare in dettagli, la DD/SCI entrerà nel merito degli aspetti disciplinari di competenza in un apposito documento.

Il documento "Il nuovo obbligo di istruzione: cosa cambia nella scuola?" diffuso dalla ANSAS (ex INDIRE), presentato dal Ministro Fioroni nel Settembre 2007 contiene al suo interno il D.M. del 27/8/07 sul "Regolamento recante norme in materia di adempimento dell'obbligo di istruzione" e alcuni allegati. Ci si aspettava un documento che mostrasse continuità col precedente relativo alla scuola primaria e secondaria di I grado, invece è evidente la diversa modalità seguita per produrre i due documenti con il risultato di forti incongruenze rispetto alla logica del curriculum verticale. È immediata l'osservazione sui modi diversi di definire gli obiettivi di apprendimento disciplinari che, nelle "competenze di base a conclusione dell'obbligo di istruzione", sono declinate in "competenze, abilità/capacità, conoscenze" che non compaiono invece nelle "Indicazioni...".

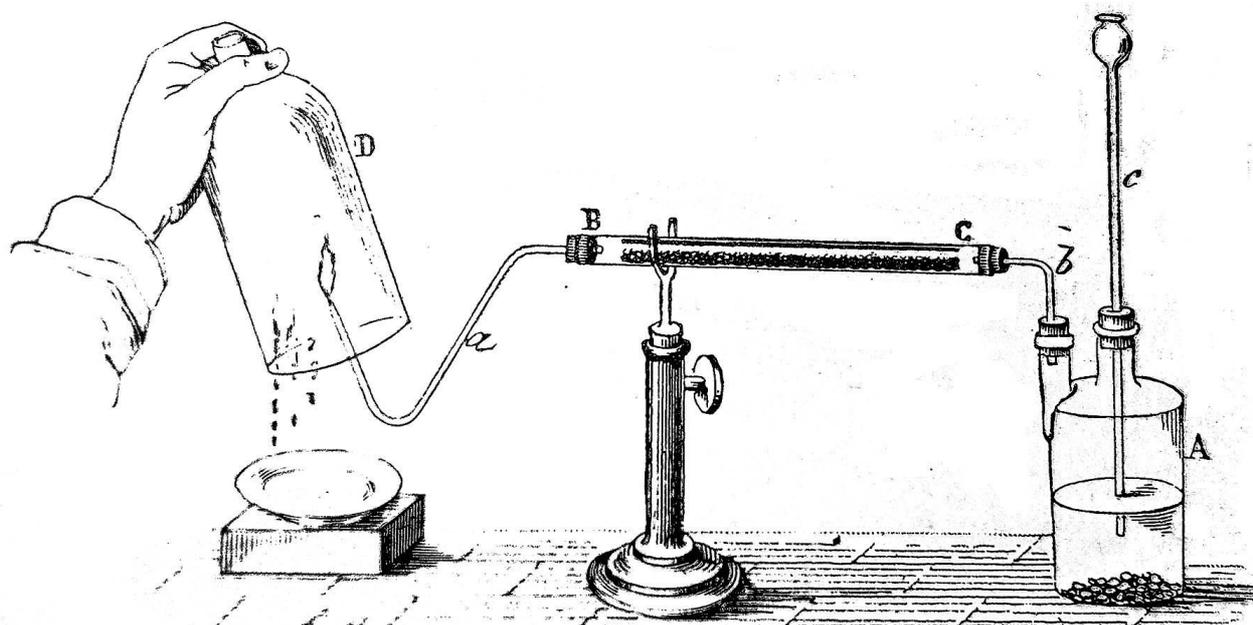
Nella presentazione del documento il ministro precisa "Le indicazioni nazionali contenute nel documento tecnico allegato hanno carattere sperimentale e si applicano negli anni scolastici 2007/2008 e 2008/2009. Esse non incidono sugli attuali ordinamenti degli Istituti di istruzione secondaria superiore e rispettano le loro diverse identità..." e prosegue "...a partire dall'anno 2009/2010 ..si attuerà il nuovo assetto del secondo ciclo, in base all'articolo 13 della legge n.40/07, ... articolato in licei, istituti tecnici e istituti professionali". Più avanti poi si afferma "I saperi, fermi restando i programmi dei diversi corsi di studio, devono potersi concentrare, in primo luogo, su conoscenze chiave irrinunciabili...La novità è dunque quella di rivolgere il sapere disciplinare al raggiungimento di competenze...Sono le scuole, quindi, a "realizzare" e non "applicare" l'innovazione in relazione agli assi culturali considerati strategici (allegato n. 1) e alle competenze chiave (allegato n. 2)".

Siamo di fronte ad un distillato esemplare della "politica del cacciavite": non si intende metter mano al riordino dei curricula della scuola secondaria di II grado che, per i due anni di "sperimentazione", avrà la sovrapposizione dei nuovi "saperi e competenze" ai vecchi programmi scolastici: come sarà possibile garantire in questa situazione confusa una effettiva applicazione delle proposte? Non solo, ma nel D.M. 22/8/2007 nel comma 2 dell'art.2 si afferma "I saperi e le competenze [descritti nell'allegato documento tecnico]..assicurano l'equivalenza formativa di tutti i percorsi, nel rispetto dell'identità dell'offerta formativa e degli obiettivi che caratterizzano i curricula dei diversi ordini,

dell'identità dell'offerta formativa e degli obiettivi che caratterizzano i curricula dei diversi ordini, una così grande differenza di struttura curricolare e di impostazione degli attuali bienni dal tipi e indirizzi di studio". Pur indicando la possibilità di ricorrere "all'utilizzazione della quota di flessibilità oraria del 20%..." come sarà possibile pervenire alle stesse competenze finali a fronte di momento che rimarranno sostanzialmente inalterati i vari indirizzi della formazione secondaria superiore?

Infine il "Documento tecnico" si rifà alla Raccomandazione del Parlamento europeo e del Consiglio del 18/12/2006 ma adotta un'articolazione diversa in fatto di saperi e competenze precisando che "I saperi e le competenze per l'assolvimento dell'obbligo sono riferiti a 4 assi culturali (dei linguaggi, matematico, scientifico-tecnologico, storico-sociale). Pur rinviando, anche in questo caso, a uno specifico documento della DD/SCI, non si può fare a meno di notare la settoriale e deludente formulazione delle Competenze, Abilità/capacità e Conoscenze relative all'Asse scientifico-tecnologico. Anche in questo caso le Associazioni scientifiche disciplinari non sono state minimamente coinvolte nella stesura.

Concludendo il "Regolamento recante norme in materia di adempimento dell'obbligo di istruzione" rappresenta un documento importante da un punto di vista politico ma non è in grado di fornire suggerimenti effettivamente utilizzabili per la progettazione curricolare degli insegnanti.



Production de la vapeur d'eau par la combustion de l'hydrogène

Francesco Selmi

Vignola, 1817 – Vignola, 1881

di Gianmarco Ieluzzi

Tra le figure poliedriche e militanti che hanno fatto grande il periodo del Risorgimento italiano, Francesco Selmi è certamente un rappresentante illustre. Fu un chimico notevole, un apprezzato dantista, combatté per l'Unità d'Italia e si impegnò al servizio del Ministero dell'Istruzione. Ebbe una vita intensa e abbastanza lunga. Nacque, primo di cinque figli, da Spirito Selmi e Domenica Cervi il 7 aprile 1817 a Vignola, nel modenese.

Fu iniziato agli studi di base da uno zio arciprete nella stessa Vignola e in seguito andò a Modena per continuare la sua formazione presso i Padri Gesuiti con i quali perfezionò gli studi letterari e filosofici. Si iscrisse quindi all'Università Estense dove iniziò la sua avventura scientifica: si dedicò alle scienze naturali e in particolare alle discipline chimico-fisiche e farmaceutiche. Il primo che ne intuì le capacità fu Alessandro Savani, facendone uno dei suoi allievi prediletti. Nel 1836 sostenne gli esami di Filosofia razionale e positiva, con ottimi risultati (tali discipline erano all'epoca necessarie per chi aspirava a studiare medicina, legge o matematica). Nel 1839 sostenne gli esami di Farmacia e conseguì con lode la licenza di Maestro di farmacia. Durante il periodo della formazione scolastica rimase orfano di padre, sicché dovette contribuire al sostentamento della famiglia, lavorando di giorno come garzone in una farmacia e studiando di notte. Ottenuto il diploma, in breve tempo divenne tanto stimato ed apprezzato dai colleghi modenesi da ottenere l'incarico di Direttore del Laboratorio Chimico della Società Farmaceutica di Modena. Durante questi anni iniziò gli studi di chimica sebbene disponesse di mezzi finanziari e tecnici irrisori. Negli anni 1840 e 1841 pubblicò in tre note il lavoro *Intorno all'azione dei cloruri di ammonio e di sodio sul cloruro mercurioso che suscitarono interesse presso i chimici dell'epoca*. Dal 1839 iniziarono a tenersi i Congressi degli Scienziati Italiani a cui Selmi partecipò presentando lavori che suscitarono forte interesse presso gli scienziati dell'epoca e a soli ventitre anni divenne segretario della sessione di chimica del Congresso di Padova. Tale incarico gli fu riconfermato anche per i congressi di Milano e Venezia. Il primo dei Congressi degli scienziati italiani si tenne a Pisa nel 1839, anno in cui Selmi si laureava; queste riunioni non solo rivestirono una grande importanza per lo scambio di idee scientifiche e per la conoscenza degli scienziati, ma divennero uno sprone per il consolidamento del movimento nazionale. Selmi fu un grosso sostenitore di queste riunioni scientifico-patriottiche; egli stesso scrive infatti «Dove fu che per la prima volta il Piemontese ed il Ligure stesero la mano fraterna al Napoletano e al Siculo, il Tosco al Lombardo ed al Veneto, i secondi reciprocamente ai pri-



Francesco Selmi

mi, riconoscendosi figliuolo gemelli della stessa unica Madre, mentre dapprima stavano partiti gli uni dagli altri a modo degli strani, se non ai Congressi?». La militanza politica di Selmi affonda le sue radici già nei moti del 1831 a cui partecipò; ma l'esultanza dell'adesione lasciò il posto alla repressione violenta che anche egli subì di persona. La sollevazione di Ciro Menotti, il voltafaccia del duca Francesco IV, il suo ritorno violento con le truppe austriache e la tragica impiccagione di Menotti sulla Cittadella di Modena segnarono una forte delusione per le speranze di liberazione; indubbiamente questi episodi lo segnarono nel profondo ed egli si decise risolutamente per la causa dell'Italia unita. Selmi stesso infatti ci lascia accenni dei suoi sentimenti e delle sue speranze in uno scritto con tratti autobiografici, *Il Favoleggiatore*.

Il suo primo incarico come docente lo ottenne nel 1842 con la nomina da parte del duca Francesco IV a professore supplente alla cattedra di chimica nel Liceo di Reggio Emilia. Accanto alla sua attività docente, Selmi si dedica assiduamente alla ricerca chimica, pubblicando svariati articoli. Sono di questo periodo gli studi sul *vitriolo di ferro*, sull'*azione dello iodio sul sublimato corrosivo*, sulla chimica molecolare. Con una serie di indagini sperimentali Selmi indagò i cambiamenti molecolari presenti in molti fenomeni chimici e ne diede anche una spiegazione teorica. Sono anni ricchi di studi e pubblicazioni: negli anni 1844-45 lavora infatti sulle emulsioni e dimulsioni, nel 1847 pubblica il fondamentale lavoro sugli Azzurri di Prussia, di capitale importanza per la nascita della chimica colloidale, di cui si può certamente con diritto sottolineare la paternità.

Tra il 1847 e il 1850 pubblica complessi lavori sul latte, sul presame e sull'effetto dei materiali con cui sono fatti i contenitori di conservazione del latte e sul loro effetto sulla coagulazione del latte; nel 1850 pubblica un bel lavoro sulla diffusione delle sostanze disciolte in soluzione, basato su un lavoro notevole di Graham da poco pubblicato. Selmi fu infatti un attento lettore degli sviluppi della chimica in Europa e i suoi lavori furono sempre attuali al contesto scientifico. Si dedicò anche alla compilazione di un Annuario chimico italiano per il 1845 e 1846 e curò il Bollettino farmaceutico negli *Annali di chimica* di Maiocchi.

La sua solerte attività di ricercatore si accompagnò sempre a un deciso impegno politico per tutta la vita. Fu insieme a G. Strucchi tra i fondatori del Giornale di Reggio, pubblicato dal 27 marzo al 26 giugno 1848 e sul quale Selmi manifestò la sua simpatia per l'annessione al Piemonte sabauda. La disfatta di Custoza e il ritorno degli Estensi lo obbligò a fuggire e così divenne esule politico in Piemonte.

La sua permanenza torinese fu caratterizzato da una elevata attività scientifica; entrò nel laboratorio di Ascanio Sobrero con il quale collaborò proficuamente agli studi sullo zolfo, e con lo stesso Sobrero pubblicò un lavoro famoso sul tetracloruro di piombo. Selmi scoprì anche nello stesso periodo le ptomaine. Con Sobrero strinse un duraturo legame di amicizia e di stima professionale. La sua attività si colloca all'interno del progetto politico savoiano mirante alla valorizzazione degli immigrati esuli: il Selmi fu quindi nominato professore di Chimica e Fisica al Collegio Nazionale di Torino.

La considerazione che si conquistò e i suoi indubbi meriti scientifici e letterari, non furono però di conforto per le conseguenze politiche che Selmi dovette subire per le sue posizioni politiche. Gli fu per sempre negato dall'amministrazione del Ducato di Modena di rivedere i propri parenti, e in particolare la madre, quando anche in punto di morte.

In quegli anni iniziò però anche la fruttuosa e di lunga durata collaborazione con la Casa Pomba (UTET), proprio in un periodo critico per la casa editrice, nella quale, dopo il fallimento per la pubblicazione de *Il Mondo Illustrato*, la direzione passò dalle mani di Giuseppe Pomba a quelle di un altro Pomba, Luigi. L'esigenza di avere nel panorama piemontese un catalogo scientifico di rilievo fu motivo del sodalizio scientifico con Selmi. La prima opera curata da Selmi fu *Principi elementari di chimica* nel 1850, poi riveduto e corretto per una seconda edizione del 1856, due anni dopo la fondazione della casa UTET dalla editrice *Cugini Pomba*. Tradusse anche dal francese la seconda edizione del *Corso elementare di chimica per uso nelle scuole universitarie, secondarie, normali ed industriali* di M.V. Regnault, insieme a G. Arpesani. Era d'altronde il periodo in cui Selmi, esule politico, aveva deciso di inserirsi attivamente nella realtà torinese.

L'opera editoriale di carattere chimico, certamente prestigiosa per novità nel panorama editoriale italiano e per ampiezza di contenuti e numero di collaboratori, fu l'*Enciclopedia di Chimica*, in undici volumi. Quando venne richiesta la sua consulenza per l'opera enciclopedica, Selmi era diventato professore di Tossicologia a Bologna, dopo vari inutili tentativi di accedere alla cattedra di Chimica Generale a Torino o Pisa. Con testi grafici ed iconografici si realizzò un progetto poderoso articolato in 10324 pagine e nutrito di un'ampissima varietà di voci scientifiche: ben 6098 voci, di cui 1791 firmate da collaboratori facenti parte dell'*eletta di chimici*. Il resto degli articoli, si annota all'inizio dell'*Enciclopedia*, sono ad opera della redazione. La maggior parte sono pertanto ad opera di Selmi o di collaboratori anonimi, e si sviluppano in svariati rami specialistici della chimica. L'undicesimo volume, di 739 pagine, dedica le ultime 223 pagine al *Compendio di storia della chimica* offrendo una panoramica della scienza chimica dalle origini fino agli anni contemporanei a Selmi. Anche l'apparato iconografico è ricco: sono 2285 le illustrazioni presenti e con un discreto numero di tavole fuori testo (sono 24, di cui 11 a colori e quasi tutte con immagini di formato maggiore delle illustrazioni nel testo).

Gli aspetti contenutistici e iconografici dell'*Enciclopedia* sono originali rispetto alle non poche opere in vario modo simili, pubblicate allora in Francia, Inghilterra e Germania. Furono undici poderosi volumi stampati in dispense tra il 1868 e il 1878, cui seguirono i tre supplementi e complementi, curati alla fine degli anni '70 da Icilio Guareschi, allievo di Selmi e professore ordinario a Torino. All'interno dell'«eletta di chimici italiani», alcuni di grande prestigio, tra cui i chimici Giacomo Arnaudon, Fausto Sestini, Ugo Schiff, Emanuele Paternò, Icilio Guareschi; il fisiologo Maurizio Schiff e il mineralista Luigi Bombici; il gesuita Francesco Denza, che fonderà l'osservatorio astronomico di Moncalieri e dirigerà la Specola Vaticana. L'opera di Selmi venne pubblicata in dispense il cui numero salì dalle 120 preventivate alle 160 finali; il motivo di questo aumento risiedette nel fatto che in corso d'opera furono numerosi gli argomenti e le novità che la chimica pura e applicata svilupparono. In una nota sulla copertina della 96esima dispensa, il direttore generale Zecchini spiega l'aumento del numero proprio sottolineando gli immensi sviluppi sopraggiunti, come in particolare in chimica organica: il passaggio dalle formule secondo il concetto di tipi a quello di struttura richiese spazio. Sono queste dispense di «quattro fogli da 16 pagine in 8° massimo, a due colonne, illustrate con numerose incisioni in legno intercalate nel testo», come recita un messaggio promozionale rinvenuto nella quarta di copertina della 22esima dispensa del 1869. L'uscita delle dispense rimase periodica con un intervallo abbastanza regolare di 20 giorni. Il prezzo iniziale, di lire 1,60, rimase fisso fino alla fine.

Dalla copertina

La casa editrice UTET, constatando che il panorama italiano si mostrava desolatamente arretrato dal punto di vista nozionistico e ancor più da quello applicativo nelle discipline chimiche, ritenne assolutamente prioritario il lavoro di Selmi: “A rampogna di nostra inerzia e neghiezze, è da confessare che, nell’ubertà del nostro territorio, nella felicità della postura geografica, sotto sì lieta guardatura di cielo, noi siamo poveri; e poveri pei terreni incolti e mal coltivati; per le fabbriche condotte con pessimi ordini; per le industrie tutte inferiori ai paesi civili. Sappiamo che accuserete i Governi caduti; poi le rinvolture e la politica; ma ora venuti a termine di quiete durevole, lasciata ogni altra cura da parte, si ha tutta a rifare l’educazione intellettuale de’ vari milioni di coltivatori, industriali, artigiani, e a ciò occorre la diffusione degli ultimi ritrovati, di quanto le scienze associate all’industria seppero operare presso le nazioni incivilite dei due mondi.” (estratto del *Bollettino bibliografico del supplemento alla nuova enciclopedia popolare italiana* del 1868). Erano rare le opere italiane disponibili sul mercato di allora (il *Dizionario di fisica e di chimica* di Pozzi, mancante però di una parte per le applicazioni, il *Dizionario universale tecnologico* di Antonelli del 1830) e certamente erano oramai superate. La casa editrice fu consapevole anche dell’offerta presente sul mercato straniero e così si rese conto della necessità di una tale opera, intuendo subito anche quale potesse essere il pregio: le opere straniere prese di riferimento erano valenti ma parziali o brevi. Nell’estratto dal succitato *Bollettino* si legge infatti che i libri di Laboulaye (Parigi, Eugène Lacroix editore) e di Ure “non hanno la parte scientifica, non le applicazioni alla medicina, alla farmacia, tossicologia e simili... il *Dizionario* di

Poggendorf e Liebig, quello recente di Watt, quello di Berreswill e Girard a pezza non bastano all’uopo: i due primi sono tutta scienza pura e teorica, il terzo nelle applicazioni ora abbonda ora difetta onninamente”. Il successo dell’opera fu notevole e la tiratura fu aumentata in itinere, arrivando a superare le tremila copie, vendute in tutta Italia.

Nel periodo che intercorre dalla sua permanenza a Torino e il suo ritorno nella zona natia, è doveroso sottolineare il servizio che Selmi rese al novello Stato Italiano ricoprendo importanti incarichi all’interno del Ministero dell’Istruzione e anche il ruolo di Provveditore a Torino. Svolse con solerzia ogni incarico accettato e il ritorno all’insegnamento a Bologna lo turbò, sentendosi impreparato a ricoprire la cattedra di Chimica Farmaceutica poiché erano oramai alcuni anni che non si dedicava alla ricerca chimica ed essendo un chimico generale di formazione. Tuttavia accettò per rendere servizio alla cultura italiana e non per carrierismo personale. E per la chimica italiana fu una fortuna.

Gianmarco Ieluzzi

Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata dell’Università degli Studi di Torino,
(e-mail: gianmarco.ieluzzi@unito.it)

Per chi volesse approfondire: G. Ieluzzi, *I primi studi di Francesco Selmi sui sistemi colloidali*, in Atti del XI Convegno Nazionale di STORIA E FONDAMENTI DELLA CHIMICA, p. 89-98.

Commemorazione di Francesco Selmi nel centenario della morte (presso Università degli studi di Modena il 22 maggio 1981), Modena: S.T.E.M. – Mucchi, 1981.

Lo "studio di caso", metodologia efficace nella didattica della chimica

Maria Antonietta Carrozza*, Gianni Michelon**
SSIS Veneto

* Supervisore di tirocinio SSIS, docente SSIS di Laboratorio di Didattica della Chimica

** Professore associato di Chimica Generale, Dipartimento di Chimica dell'Università Ca' Foscari di Venezia

1. Premessa

Nella formazione aziendale dei quadri dirigenziali, viene spesso utilizzata una metodologia di ricerca-azione (secondo la visione di Carr & Kemmis, citati in Crookes, 1993), chiamata "studio di caso", metodologia che consiste essenzialmente nella presentazione di una situazione reale, sulla quale, chi è coinvolto, effettua una diagnosi analitica e critica per individuare le cause del problema e acquista consapevolezza delle procedure messe in atto per diagnosticarlo e risolverlo (*Case study*, cfr. bibliografia essenziale di riferimento; per gli autori si tratta del primo contributo a stampa sull'argomento); questa metodologia, per le sue caratteristiche e per gli scopi che si propone, può risultare molto utile nel campo della formazione scolastica, in particolare per lo sviluppo di processi di analisi delle situazioni, di presa di decisione, e di analisi dei benefici delle soluzioni adottate in relazione alle situazioni prese in considerazione.

La metodologia è stata messa a punto e sperimentata dall'autrice nella classe quarta di un liceo scientifico in due discipline di studio differenti:

in biologia, nell'ambito della programmazione del corso di anatomia, con due studi di caso intitolati "L'osteoporosi, i pro e i contro di una terapia farmacologica" e "Il trauma cranico";

in chimica, con uno studio di caso dal titolo "La chimica del restauro".

Il primo caso sottoposto alla classe è stato quello sull'osteoporosi, in cui gli allievi sono stati invitati a cimentarsi nello studio e nell'analisi di documenti, preventivamente ricercati e selezionati, sui quali è stato costruito un compito ben preciso che è stato loro assegnato. Questa prima proposta è servita, da un lato, per osservare la reazione della classe alla nuova proposta metodologico-didattica basata sul concetto di scuola-laboratorio, dall'altro, come base sperimentale per mettere a punto gli altri due tipi di studio di caso con la variante metodologica dell'*incident* (in seguito descritta più chiaramente al punto 3.2; secondo questa metodologia derivata dallo studio di caso, la situazione reale viene descritta e documentata solo parzialmente, così da stimolare l'interesse ad approfondimenti e ricerca di ulteriore documentazione per poter arrivare infine ad

ipotizzare possibili soluzioni del problema da parte degli studenti).

Secondo questa variante infatti, sono stati costruiti, sempre dall'autrice, gli studi di caso: "Il trauma cranico" e "La chimica del restauro". Dopo la sperimentazione nella quarta classe del settore tecnologico del Liceo Scientifico Fracastoro di Verona e la sperimentazione più ampia effettuata in tre differenti indirizzi di scuole di Verona, Venezia e Castelfranco Veneto (PD) in cui sono stati coinvolti allievi del biennio, si può affermare che questa metodologia è vincente per due motivi fondamentali: poiché è orientata verso obiettivi formativi che si prefiggono lo sviluppo di processi di analisi e decisione e poiché combatte la carenza di motivazioni verso lo studio di discipline come la chimica che normalmente vengono considerate difficili, noiose e mnemoniche.

L'esperienza didattica personale in questo campo, e quella dei colleghi che coraggiosamente in questa innovazione metodologica hanno creduto, hanno portato ad ottimi risultati e con alto gradimento da parte degli studenti, su tematiche come l'osteoporosi (sia femminile sia maschile) e il trauma cranico; ognuna di esse partiva da situazioni contingenti della programmazione educativa didattica che riguardava sia la materia di studio -come ad esempio l'anatomia in cui lo scheletro e la sua fisiologia, il sistema nervoso e quello ormonale- sono stati studiati e approfonditi attraverso lo studio di caso sugli argomenti in questione. In particolare, con il secondo tema gli studenti sono stati condotti all'integrazione tra il programma di anatomia e quello di educazione stradale, in cui proprio l'*incident* in questione ha loro consentito di mettere in pratica, nell'anno scolastico 2005, l'educazione stradale e il messaggio che questa doveva contenere per essere compresa da altri giovani nel 2006.

La stessa metodologia è stata da noi applicata anche in un ampio progetto sulla comunicazione nel settore delle biotecnologie; tale progetto è stato approvato e cofinanziato dal MIUR su proposta della SSIS del Veneto, ed ha visto il significativo coinvolgimento di colleghi supervisori di tirocinio (Silvano Rodato e Silvia Zanetti), di ben 12 specializzandi, di 6 insegnanti accoglienti della SSIS del Veneto e di 150 studenti di

Lo "Studio di caso"

diverse scuole secondarie superiori del Veneto (cfr. bibliografia di riferimento).

2. Lo studio di caso nel campo della chimica

L'idea è nata dal contesto particolare in cui l'autrice si trovava ad operare, una classe nuova, difficile, demotivata e superficiale sia nello studio sia nell'analisi dei fenomeni; che rifiutava inconsapevolmente la lezione frontale e l'insegnamento trasmissivo con evidenti manifestazioni di insofferenza come, ad esempio, brevi tempi di attenzione, continua interruzione durante le spiegazioni con domande poco pertinenti su temi peraltro affrontati ripetutamente poco prima o svolti nella lezione precedente.

Anche la lezione dialogata partendo da fenomeni concreti e già esperiti si presentava difficile in quanto gli allievi non partecipavano, perché, secondo loro, nella passata esperienza scolastica (biennio) avevano sperimentato un atteggiamento strettamente giudicativo dell'insegnante su ogni minima loro prestazione, atteggiamento in cui non era stato messo in evidenza, nel contesto didattico e in modo chiaro, la distinzione tra momenti valutativi e momenti in cui i dubbi devono essere esternati perché fonte di conoscenza.

Il contesto operativo, perciò, non si presentava facile né dal punto di vista culturale e cognitivo, né da quello motivazionale. Come affrontare allora in questa situazione il tema delle reazioni chimiche se anche facendo riferimento all'esperienza vissuta e coinvolgendo gli allievi nella discussione o nell'impostazione di esperienze in laboratorio secondo un protocollo sperimentale pre-costituito, come si fa normalmente, non si otteneva alcun risultato positivo?

L'idea vincente è stata quella di proporre l'applicazione della metodologia dello studio di caso a un problema che presentava legami forti con diverse altre discipline, ma il cui cuore, dal punto di vista dell'interpretazione dei fenomeni e delle possibili soluzioni per affrontarlo, fosse la chimica.

La scelta è caduta sui problemi del degrado chimico e chimico-fisico di manufatti e dei possibili interventi per bloccarli o ridurli, sia perché l'insegnante di tecnologia e disegno aveva manifestato interesse alla proposta, sia perché, operando a Venezia nella SSIS Veneto, i problemi del deterioramento delle opere d'arte della città è molto evidente e si poteva discutere di questi problemi con il prof. Michelon, coordinatore dell'indirizzo scienze naturali della SSIS, che insegna chimica nel corso di laurea di Scienze e Tecnologie chimiche per la conservazione ed il restauro.

Questo ambito di studi ha permesso, nell'insegnamento scientifico presso il liceo, di introdurre ed affrontare argomenti di carattere chimico e chimico-fisico da un punto di vista concreto partendo dall'osservazione sul territorio di alcuni fenomeni particolari (impostando l'*incident* nello studio di caso), applicando il *problem solving* per la formulazione di ipotesi che conducessero all'analisi di materiali e documenti e alla messa a punto di verifiche sperimentali in laboratorio.

La tematica è risultata particolarmente stimolante e a largo spettro, visto che tocca argomenti molto vari, come l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, le scienze dei materiali, il comportamento chimico e fisico di materiali utilizzati in manufatti artistici, la storia dell'arte, la tecnologia applicata a finalità specifiche, ecc.

L'applicazione della metodologia dell'*incident* ad una tematica di questo tipo risulta essere molto efficace nell'insegnamento poiché contestualizza molti argomenti di carattere chimico in un settore concreto e li rende significativi in quanto mirati alla risoluzione di problemi reali; ciò porta anche ad una forte motivazione allo studio della chimica che generalmente risulta, agli studenti, complesso (e lo è), poco concreto ed inutile dal punto di vista del cittadino comune.

3. Adattamento della metodologia al contesto scolastico specifico

Poiché lo studio di caso è stato finora utilizzato quasi esclusivamente in ambito aziendale, è ovvio che sia necessario esaminarne le caratteristiche e cercare di adattarlo alla situazione della scuola per poterne sfruttare adeguatamente le potenzialità formative.

3.1. Studio di caso: caratteristiche e varianti

Nella struttura originale la metodologia dello studio di caso consiste nel presentare una situazione concreta, che potremmo chiamare "chiusa", che esige una diagnosi nel senso che chi partecipa allo studio di caso deve mettere in atto processi di analisi per individuare le cause del problema esposto nel caso e deve essere ben consapevole delle procedure messe in atto per diagnosticarlo e risolverlo.

Pertanto, la metodologia originale mira non all'attuazione di procedure risolutive del caso, quanto a sviluppare competenze di analisi e diagnosi su comportamenti già sperimentati in occasioni di presa di decisione.

Questa è una strategia comunemente usata in contesto aziendale o legale, mirata alla formazione di quadri, e prevede che vengano forniti materiali completi ed esaurienti che riguardano sia la natura del caso, sia tutte le sue caratteristiche e il suo contesto, sia infine le decisioni prese per risolverlo; praticamente il gruppo di persone cui è rivolto sviluppa competenze di analisi critica dei dati e dei processi che hanno portato alle conclusioni del caso, anche di analisi dei benefici delle soluzioni adottate ma non competenze decisionali.

Esistono tuttavia in bibliografia delle varianti in relazione a:

- tipo di situazione concreta proposta (per es.: semplice o complessa, lunga o corta, ecc.)
- obiettivo che ci si prefigge (per es. sviluppo di competenze di analisi, decisionali, ecc.)
- modalità con cui le informazioni vengono fornite (per es. in serie, *incident*, ecc.)

3.2. Come adeguare il metodo in ambito formativo-didattico: la variante *incident*

Nel percorso didattico che sarà illustrato la variante di studio di caso utilizzata è stata quella chiamata "*incident*" in quanto meglio di altre modalità si adatta alla struttura sintattica della chimica che ha spiccato carattere investigativo.

In questa variante non viene presentato il caso nella sua completezza, ma vengono fornite solo alcune informazioni che suscitino l'interesse su di esso e stimolino alla ricerca di ulteriori dati per arrivare a prospettare una soluzione.

In questa situazione, i compiti del gruppo che deve lavorare al caso sono sia trovare la documentazione necessaria alla descrizione del caso, sia analizzarla criticamente, sia infine proporre soluzioni (o contestare o modificare quelle eventualmente adottate da altri); questa modalità quindi, oltre a sviluppare competenze critiche e di analisi di processi, prevede anche lo sviluppo di competenze decisionali (*decision making*).

Quindi invece di presentare l'*incident* attraverso fonti scritte, per rimanere aderente al carattere della disciplina, gli studenti sono stati portati ad osservare direttamente sul territorio, con una visita guidata a Venezia, il problema precedentemente introdotto dall'insegnante con una sequenza di diapositive. Dopo l'escursione sul territorio agli allievi è stato assegnato il compito di organizzare una ricerca –sia dal punto di vista della sequenza delle operazioni sia da quello dei tempi- e la selezione dei materiali informativi nonché la progettazione delle fasi di lavoro.

4. Un'applicazione dello studio di caso a scuola nel campo del restauro

L'argomento prescelto e successivamente descritto, inquadrabile nel settore della chimica del restauro, pur con implicazioni anche di carattere pluridisciplinare, è sembrato particolarmente motivante, per studenti di un liceo, anche per un apprendimento significativo di parecchi argomenti di carattere chimico. Non è inutile ricordare che uno dei maggiori problemi che si presentano nell'insegnamento/apprendimento della chimica è la carenza di serie motivazioni nei giovani.

4.1. Il tema: le "croste nere" nel degrado di materiali lapidei

Il fenomeno delle cosiddette "croste nere", che si presenta su moltissimi manufatti in tutto il territorio italiano (e non solo, anche se in Italia è più evidente e drammatico a causa -o grazie- della grande ricchezza di opere d'arte che fortunatamente possediamo), è diventato molto evidente negli ultimi cinquant'anni, in parallelo con lo sviluppo dell'inquinamento urbano legato al riscaldamento domestico, all'enorme incremento del traffico automobilistico, alle variazioni meteorologiche, ecc. La scelta di partire da questo fenomeno era legata anche alla

programmazione disciplinare, che prevedeva le reazioni chimiche: il fenomeno si prestava benissimo a questa trattazione perché metteva in pratica trasformazioni a carico del carbonato di calcio in particolari condizioni atmosferiche e in presenza di particolari sostanze, come piogge acide, ossidanti gassosi e catalizzatori della trasformazione.

4.2. Le fasi significative dell'*incident* sulle "croste nere"

4.2.1. Creazione dello stimolo iniziale

Il momento significativo è quello in cui viene introdotto il "caso" per cercare di creare negli studenti interesse al caso in sé, motivazioni alla sua conoscenza, all'interpretazione e alla comprensione del fenomeno, all'apertura verso una visione scientifica e olistica del problema, allo sviluppo di ipotesi di possibili soluzioni.

Questa fase, come già detto, è stata realizzata mediante proiezione di immagini su situazioni reali in contesti ambientali e territoriali diversi dalla sede di residenza; gli studenti stessi sono stati invitati a individuare segni del fenomeno in questione e a discutere preliminarmente su quali potrebbero esserne, secondo loro, le ragioni, le cause prime e seconde. Così si è effettuato, in pratica, anche un'indagine qualitativa sulla situazione cognitiva della classe in accesso al progetto di ricerca (Allegato 1).

In un secondo momento gli studenti sono stati portati in uscita didattica a Venezia per osservare in modo diretto alcuni monumenti ed edifici in cui il fenomeno era evidente, ma senza suggerire loro obiettivi troppo mirati di una osservazione critica; si è trattato perciò, più che altro, di un'azione "maieutica" in cui si è cercato di far emergere le loro abilità di osservazione, di recupero e di riarrangiamento di conoscenze in funzione dell'obiettivo di analizzare un fenomeno di degrado. Agli studenti condotti sul territorio è stato, cioè, posto il seguente compito: "osservare edifici e monumenti, descrivere in forma orale e mediante fotografie, forme di degrado esistenti sul territorio che potessero assomigliare o differenziarsi completamente da quelli osservati nelle immagini mostrate in precedenza".

Lo scopo del compito era quello di creare un legame tra le immagini viste in classe e l'ambiente concreto e di condurre gli studenti a differenziare in almeno due tipologie distinte i fenomeni di degrado ambientale: degrado dei monumenti e degrado delle opere murarie degli edifici, in modo da potersi concentrare sull'analisi delle cause e degli interventi a carico dei materiali lapidei.

4.2.2. Linee guida preliminari (prime domande di indirizzo)

Il secondo momento dello stimolo iniziale ha previsto un lavoro cooperativo in cui la classe, divisa in piccoli gruppi, ha discusso ed elaborato proposte operative in base a due compiti di apprendimento forniti dall'insegnante:

Lo “Studio di caso”

- un primo momento di discussione e sintesi -che sarebbe derivato dall'uscita didattica e dalla visione delle diapositive e che avrebbe condotto gli studenti all'articolazione di idee poco precise relative ai fenomeni osservati;
- il secondo compito doveva rendere consapevoli gli studenti della necessità di reperire informazioni ulteriori per arrivare alla soluzione del problema.

La proposta del compito doveva pertanto mirare a centrare l'attenzione sui segni del degrado stimolando al riconoscimento di analogie e differenze, generando profondo (e non superficiale) interesse nella conoscenza delle cause, con l'obiettivo di uno sviluppo di competenze nella pianificazione di una indagine che prevedesse sia la ricerca di informazioni sia la progettazione di attività sperimentali. Il contenuto del compito, perciò, doveva condurre gli studenti a stabilire con precisione quali informazioni ricercare, come ricercare e dove ricercare. Le domande poste sono state:

“avete notato fenomeni analoghi nella vostra città o nel territorio limitrofo?”

“quali chiavi di interpretazione dobbiamo usare per il fenomeno?”

“quali informazioni sarebbe utile cercare e dove, per tentare di capire che cosa è avvenuto sui manufatti degradati?”

“è possibile intervenire per risolvere questo problema, in che modo?” (Allegato 2)

4.2.3. Progettazione delle attività nei gruppi

I risultati della prima fase sono stati soddisfacenti, in quanto gli studenti hanno manifestato una inaspettata serietà nel risolvere il compito assegnato: durante il tempo dedicato all'attività di gruppo tutti gli allievi hanno partecipato attivamente al lavoro; dopo qualche minuto iniziale i gruppi, in modo sorprendente, avevano scelto il custode dei tempi e avevano designato il segretario visto che dovevano presentare la sintesi del lavoro all'insegnante. I due compiti di apprendimento sono stati portati a termine nel tempo stabilito e la sintesi dei lavori ha messo in evidenza quanto segue:

- il fenomeno delle croste nere sui materiali monumentali era evidente anche a Verona, gli allievi hanno riportato esempi di monumenti dove si notavano gli stessi segni del degrado, ad esempio Portoni Borsari, Arche Scaligere ecc.;
- le chiavi di interpretazione dovevano riguardare processi chimici a carico dei materiali che costituivano i monumenti per cui occorreva conoscere la loro composizione; il fenomeno era collegato con le piogge acide e perciò con l'inquinamento atmosferico, senza saperlo spiegare con precisione;
- hanno individuato come differenza tra “l'ambiente” di Verona e quello di Venezia, la salsedine, che avrebbe potuto agire a Venezia ma non a Verona; relativamente agli interventi gli studenti hanno prospettato una necessaria riduzione dell'inquinamento atmosferico

ma non hanno prospettato alcun intervento mirato per restituire ai manufatti una certa integrità.

Dalla discussione collettiva e dall'intervento dell'insegnante - teso, da un lato, a sottolineare le buone idee emerse dalla riflessione nel lavoro dei gruppi e, dall'altro, a mettere in evidenza, con continue domande-stimolo rivolte all'intera classe, lacune sull'argomento che non consentivano un'approfondita conoscenza del problema - è emerso, secondo le previsioni, la necessità di ricercare altre informazioni.

Lo stimolo alla ricerca e la motivazione a venir a capo di una soluzione del problema si sono delineati con più evidenza dinanzi alla proposta di lasciare a disposizione degli studenti il laboratorio per eventuali prove sperimentali qualora essi avessero presentato logiche e coerenti motivazioni e proposto di eseguire verifiche sperimentali sulla base di un protocollo preciso di lavoro.

Da questo momento ha avuto inizio una vera e propria attivazione degli studenti e, in un contesto motivante l'autonomia di apprendimento dei gruppi, ha preso le mosse l'organizzazione autonoma sequenziale e temporale del proprio percorso di apprendimento partendo dal delineare con precisione consapevole ciò che conviene fare e come si intende procedere.

Questa progettazione del percorso operativo ha previsto una auto-attribuzione di compiti specifici a singoli studenti sancita dal gruppo: alcuni dovevano cercare e procurare materiali informativi, altri dovevano selezionarli escludendo quelli non significativi, altri ancora organizzarli in forma comunicativa in base a criteri da loro scelti che dovevano rendere manifesti al resto del gruppo.

Nello svolgimento dell'attività didattica, in fase iniziale, l'insegnante aveva posto alcune consegne prescrittive:

- i materiali selezionati e organizzati dovevano essere studiati criticamente dai singoli componenti del gruppo;
- qualora l'attività prevedesse più momenti di ricerca i ruoli dovevano essere invertiti, perciò ogni gruppo doveva comunicare nelle varie fasi i compiti e i ruoli di ciascuno;
- la discussione dei risultati e delle ipotesi interpretative e risolutive elaborate nelle singole fasi doveva essere collettiva;
- doveva esserci un confronto tra i gruppi sul percorso progettato, con scambio di informazioni, al fine di favorire la consapevolezza della molteplicità dei possibili approcci;

si doveva pervenire alla elaborazione di una relazione individuale finale, allo scopo di attivare una riflessione metacognitiva in relazione ai punti cruciali del lavoro e alle scelte strategiche compiute per arrivare ad un buon prodotto finale.

4.2.4. Fasi ed attività previste dagli studenti “sulla carta” nella progettazione del lavoro

Nel complesso, le fasi individuate, negoziate da tutti i gruppi e presentate in classe sono state:

A. Fase della documentazione: tipologie e fonti

- raccolta dati relativi alle croste nere, alle cause della loro formazione, ai processi chimici e fisici che ne sono responsabili. I documenti devono riguardare: articoli scientifici che spiegano il fenomeno, immagini che documentano i luoghi in cui avviene il fenomeno, documenti di ditte specializzate che effettuano interventi, immagini di monumenti prima e dopo il trattamento;
- raccolta di dati relativi alla composizione chimica dei materiali monumentali e alle trasformazioni cui vanno incontro se esposti all'aria;
- individuazione delle fonti di informazione cui attingere per trovare i dati: ricerca di siti internet che trattino il fenomeno delle piogge acide e dell'inquinamento atmosferico nonché delle croste nere, archivi comunali o biblioteche universitarie, materiali forniti da esperti del settore;

B. Fase della categorizzazione per archiviazione dei dati:

Selezionare i materiali in base ai seguenti criteri:

- definire la tipologia degli articoli (scientifici, divulgativi, di opinione sulle tipologie di intervento, politica dei beni artistici, di analisi chimica e di ricerca sui possibili protettivi, di tipologia del materiale)
- seguire tali criteri per organizzare i materiali informativi reperiti
- precisare la categoria più significativa cui assegnare l'insorgenza delle croste nere

C. Fase della condivisione delle chiavi interpretative del fenomeno

Discutere su quali chiavi di interpretazione sia possibile utilizzare per capire il fenomeno delle croste nere:

- di natura chimica? e perciò riguardanti la composizione del materiale, l'analisi degli inquinanti, le reazioni di degrado, le ricerche su materiali di protezione?
- di natura fisica, come risalita capillare, cristallizzazione, dilatazione, dilavamento?
- di natura biologica come sviluppo di batteri, muffe o altri microrganismi?

D. Fase dell'analisi degli interventi per intervenire sul fenomeno

Individuare ed analizzare gli interventi che vengono abitualmente effettuati per combattere il fenomeno delle croste nere.

E. Fase laboratoriale: verifica sperimentale delle ipotesi formulate

Progettare una serie di attività laboratoriali che permettano conferme o falsificazione di ipotesi di interpretazione del fenomeno delle croste nere.

F. Fase ideativa-immaginativa

Creare ipotesi di risoluzione del problema, possibilmente stilando alcune procedure.

G. Fase della documentazione e della comunicazione

Stendere una relazione finale individuale e una presentazione collettiva in Power Point.

I **tempi** e le **modalità** indicati da quasi tutti i gruppi di studenti sono stati suddivisi in attività a scuola e a casa; il tempo scuola è stato quantificato in 11 ore, concesse interamente dall'insegnante che ha anche aggiunto una ulteriore ora per assaporare di persona il loro entusiasmo relativo alla esperienza di apprendimento effettuata e la richiesta di lavorare ancora secondo queste modalità; la tabella dei tempi che la classe ha condiviso e rispettato è la seguente:

Fasi	Tempi	Modalità di impiego del tempo
1	3h tempo scuola	1h per la discussione in gruppo relativa alla organizzazione, e per stilare un percorso che documenti le intenzioni del gruppo relative a questa fase 2h per ricerche in internet in aula di informatica e stampa materiali
2	1h tempo scuola + tempo a casa dipendente dalla persona	Tempo scuola per negoziare la categorizzazione per l'archiviazione dei dati e la categoria a cui assegnare le croste nere; tempo a casa per lo studio e la sintesi dei materiali
3	1h tempo scuola	Per negoziare la chiave interpretativa del fenomeno delle croste nere
4	Tempo a casa	Per la ricerca e lo studio (collettivo in sottogruppi) di materiale informativo relativo agli interventi sui monumenti, per creare schemi per comunicare le informazioni al resto del gruppo
5	5h Tempo scuola + tempo a casa	2h per progettare gli esperimenti stilando il protocollo (ricognizione del materiale e della strumentazione, progettazione della fase esecutiva) 3h per la fase esecutiva procedurale in laboratorio 1h circa tempo casa per stilare la relazione delle attività di laboratorio
6	Tempo a casa + 1h tempo scuola	Due pomeriggi di studio collettivo in sottogruppi e discussione: 1 pomeriggio (4h) per coordinare le idee e proporle ai componenti dei sottogruppi 1 pomeriggio (4h) per confrontare le proposte dei due sottogruppi e negoziare un'unica proposta da presentare come lavoro di tutto il gruppo 1h tempo scuola per presentare la proposta alla classe e all'insegnante
7	Tempo a casa	Per compilare una relazione che documenti l'intera esperienza di apprendimento

Lo “Studio di caso”

4.2.5. Alcuni materiali significativi prodotti dagli studenti sono stati:

- immagini e fotografie sul degrado ambientale a Venezia e a Verona
- schede relative al fenomeno delle croste nere
- attività in laboratorio: soluzioni, solubilità, reazioni chimiche e catalisi (i concetti implicati nella comprensione del fenomeno)
- schede su alcune possibili soluzioni: interventi per combattere il fenomeno

Per ragioni di spazio, si ometteranno le immagini o fotografie che gli studenti hanno realizzato per documentare il fenomeno dell'inquinamento a Verona e a Venezia, come si ometteranno le proposte di archiviazione dei materiali effettuati; si riporteranno invece la fase di progettazione autonoma del lavoro, in quanto più significativa per il processo di apprendimento/insegnamento messo in atto adottando questa metodologia, così da mettere in evidenza le strategie didattiche e gli strumenti didattici utilizzati in questa esperienza di insegnamento/apprendimento.

Verranno presentate inoltre alcune delle schede realizzate dagli studenti per la documentazione del fenomeno delle croste nere e le schede di laboratorio di chimica, anch'esse da loro elaborate, per comprendere il fenomeno o per comprendere fenomeni ad esso collegati, come ad esempio quelle della solubilità dei sali in funzione della temperatura e quelle dell'influenza di un catalizzatore.

La documentazione è necessariamente incompleta, poiché l'attività in questione, l'*incident*, che ha costituito lo stimolo iniziale per lo studio della chimica, è durato per l'intero anno, proprio per creare affezione verso una disciplina che viene considerata, nell'immaginario collettivo, di difficile comprensione perché fortemente astratta, e soprattutto pericolosa perché causa solo di problemi ambientali. Con questo studio di caso, gli studenti, come loro stessi diranno nelle conclusioni, hanno potuto toccare con mano che i processi di degrado delle rocce sono anche naturali; che anche processi di natura fisica, sempre naturali, innescano il degrado dei manufatti; che, spesso, proprio alla chimica si deve far ricorso per rallentare o riportare al loro splendore opere d'arte danneggiate. Infine hanno potuto comprendere che il problema della salvaguardia ambientale, non si risolve debellando l'industria chimica, ma perseguendo una politica di sviluppo economico sostenibile.

5. Pianificazione della ricerca

Gli studenti della classe, erano stati espressamente guidati dall'insegnante, in molte occasioni, a pianificare una ricerca, ma non erano mai stati completamente autonomi nella progettazione del percorso da intraprendere.

Nell'attività proposta, cioè nell'*incident*, l'autrice ha invece, volutamente attivato non solo processi di analisi -secondo i presupposti della metodologia- ma anche processi che portassero gli studenti verso la costruzione di autonomia operativa, attivando l'analisi anche sulle operazioni concrete da compiere in funzione del compito

da svolgere. Si è perciò scelto di utilizzare strategie attive come il *brainstorming*, il confronto cooperativo nel gruppo su compiti di apprendimento e la metacognizione. Questa parte del lavoro ha visto perciò diverse fasi didattiche, in particolare un *brainstorming* iniziale sull'interpretazione soggettiva di “pianificazione di una ricerca” e individuazione della qualità e quantità di operazioni concrete allo scopo di condividere i significati (cosa e come). A tale proposito, dopo aver richiesto la loro collaborazione nel registrare alla lavagna e sul quaderno le domande che venivano poste all'intera classe e le loro risposte, gli studenti sono stati stimolati al lavoro collettivo su quanto emerso e ad elaborare un prodotto condiviso. L'elaborazione collettiva delle cognizioni condivise nel gruppo classe ha portato a rilevare di dover indurre gli studenti a specificare meglio quanto avevano elaborato e a dar corpo alle “buone” idee emerse nella prima fase didattica. Per questo motivo è stato articolato un compito di apprendimento che è stato consegnato agli studenti dopo aver organizzato la classe in piccoli gruppi cooperativi. Il compito di apprendimento 3 (Allegato 3) richiedeva loro di riflettere su quanto elaborato e articolare meglio: la struttura della fase di organizzazione del lavoro, gli ambiti e modalità del lavoro di ricerca, l'organizzazione del gruppo

Di seguito è riportato quanto emerso dal *brainstorming* e dall'esecuzione del terzo compito di apprendimento proposto ai gruppi.

5.1. Risultati emersi dall'attività di *brainstorming* in classe

Per pianificare una ricerca occorre prestare attenzione ad alcune operazioni concrete; il numero delle operazioni e il significato da noi attribuito ad ogni operazione è stato oggetto di discussione e di condivisione nel gruppo classe. Le operazioni e i significati condivisi sono di seguito riportati:

a. Pianificazione tempi: scandisce il tempo a disposizione in un numero di incontri efficaci per la realizzazione della ricerca.

b. Materiali di lavoro: ricerca e selezione delle fonti di informazione, scelta dei temi e motivazione delle scelte, individuazione dei criteri di selezione e di scelta.

c. Organizzazione del lavoro: abbiamo condiviso il seguente significato di organizzazione del lavoro: “struttura delle parti o fasi dell'attività che ci permetteranno di assolvere razionalmente il compito”; ambiti e modalità della ricerca da svolgere.

d. Organizzazione del Gruppo: abbiamo condiviso il seguente significato di organizzazione del gruppo: “individuazione ed esplicitazione di compiti e ruoli, previsione dei problemi per prevenire disagi”.

5.2. Esiti del compito di apprendimento (Allegato 4) proposto dall'insegnante ai gruppi cooperativi

Per quanto riguarda l'**organizzazione del lavoro**, le “buone domande” che ci siamo posti sono state:

1. Cosa intendiamo per fasi di lavoro?

2. Quali fasi di lavoro sono necessarie?
3. Quali tempi prevediamo per ogni fase?

Le risposte che ci siamo dati sulle **fasi di lavoro**:

Attingiamo dalla chimica il significato di **fase** per condividere quello di **fase di lavoro**; per fase di lavoro perciò intendiamo “una porzione o parte, in questo contesto, di attività (invece che di sistema), che comprende operazioni (non con proprietà) omogenee che cambiano nel contenuto e/o nella modalità, tra parti della stessa attività. Le fasi di lavoro necessarie per pianificare una ricerca, secondo noi, sono:

- **fase di progettazione**: delinea il percorso e dei punti fondamentali
- **fase della condivisione**: discussione in gruppo dei materiali per dividerli e distribuire i ruoli e i compiti
- **fase della comunicazione**: scelta delle modalità di presentazione del lavoro
- **fase della realizzazione**: lavoro di gruppo per l’attuazione della presentazione dei risultati

Per quanto riguarda la **ricerca dei materiali**, le “buone domande” che ci siamo posti sono state:

1. Quali materiali ricercare?
2. Perché quei materiali?
3. Dove ricercare?
4. Come ricercare?
5. Quando ricercare?

Le risposte che ci siamo dati:

Risposte alle domande **1 e 2**:

Rispetto ai materiali, poiché sapevamo (conoscenze naturali) che il restauro riguarda mobili, quadri, monumenti ecc., abbiamo deciso (durante l’attività di *incident* facciamo notare al lettore l’inizio della fase di *decision making* che comincia già dalla ricerca di altri dati per la comprensione del fenomeno osservato; si attiva pertanto un processo di discriminazione intenzionale dei dati secondo criteri stabiliti dal gruppo e guidati dai propri interessi) di concentrarci sull’analisi delle problematiche che interessano i monumenti, in particolare sui materiali lapidei per conoscere, riguardo alle “macchie scure”, la natura, le cause e gli interventi possibili per difendere il patrimonio monumentario.

Per questo motivo, poiché abbiamo capito che il campo del restauro è estremamente vasto, *abbiamo deciso* di delimitare la ricerca dei materiali alle problematiche dei materiali lapidei esposti alle intemperie, ricercando in particolare il fenomeno delle “macchie scure”. Nella visita a Venezia, infatti, abbiamo rilevato il fenomeno su frontali lapidei di palazzi o su statue; lo stesso fenomeno è stato rilevato a Verona, per cui è un fenomeno la cui natura e cause sono generalizzabili.

Risposte alle domande **3,4,5**:

Effettueremo la ricerca nell’aula di informatica, sfruttando il seguente tempo scuola: 2 ore di lezione di

chimica e due ore offerte dall’insegnante di tecnologia e disegno, interessata al nostro lavoro. Ricercheremo i materiali anche a casa e a scuola, fuori dalle lezioni. Le fonti di accesso: cartacei, multimediali, da libri, da archivi, e riporteremo le fonti. Ci siamo organizzati nel gruppo in modo che due componenti del gruppo (gli allievi hanno riportato i nomi) ricerchino materiali multimediali (ipertesti o testi), due componenti ricerchino materiali cartacei (libri, enciclopedie, riviste). Riguardo a quando ricercare, abbiamo deciso di ricercare i materiali cartacei anche durante la ricreazione e al pomeriggio. Nel primo caso dobbiamo prendere appuntamento con l’insegnante bibliotecario e nel secondo caso dobbiamo chiedere il permesso al preside in modo che designi un allievo, maggiorenne, responsabile dei materiali e della integrità della biblioteca tra quelli che si sono resi disponibili al servizio.

Per quanto riguarda le “buone domande” che occorre porsi per specificare l’**organizzazione del gruppo** e le modalità organizzative funzionali ad un buon prodotto finale:

1. Quali problemi potrebbero impedire l’efficienza e l’efficacia del nostro lavoro?
2. Quale deve essere la responsabilizzazione di ognuno rispetto al compito?
3. Chi tiene i materiali? Ognuno elabora solo una parte e la consegna ad uno solo (coordinatore) che elabora un unico materiale? Oppure ognuno elabora una parte e si discutono insieme in modo che tutti siamo al corrente di tutti i materiali elaborati? Quale modo è più efficace?
4. Come facciamo a comunicare tra noi nel gruppo?

Abbiamo perciò individuato 3 gruppi di problemi a cui dovevamo dare risposte:

- problemi di responsabilizzazione
- problemi di assenze del compagno di gruppo(se il compagno manca?)
- problemi di comunicazione

Le risposte che ci siamo dati:

Ognuno ricerca i materiali nell’ambito stabilito, ognuno sottolineerà i punti chiave dei testi ricercati e di sua competenza, consegnando agli altri compagni i materiali così elaborati, in modo che i compagni, secondo la propria responsabilità, possano condividere l’operazione svolta. Ciascuno opererà successivamente una sintesi e, usando gli strumenti grafici (mappe, tabelle, schemi) che ritiene più idonei per rappresentare le conoscenze, la presenterà ai compagni del gruppo nel momento di discussione dei materiali previsto in classe (ore di lezione di chimica, ore di lezione di tecnologia e disegno). Ogni studente del gruppo sarà in possesso perciò di tutti i materiali elaborati dal gruppo, questo perché il lavoro possa continuare senza intoppi in caso di assenza di un componente del gruppo stesso. Il gruppo però designerà un coordinatore supervisore dei tempi (complessivi del

Lo “Studio di caso”

lavoro) e del compito (controlla che vi siano i materiali relativi a tutti i punti della ricerca, raccoglie le idee e organizza la fase di presentazione del lavoro). Nella discussione sui materiali in classe questi due compagni avranno anche il compito di custodire i tempi di intervento di ciascuno e di richiamare l'attenzione di tutti sul contenuto della discussione, nel caso si scivolasse in ambiti diversi. Un compagno invece avrà il ruolo di mediatore (dovrà cioè trovare soluzioni intermedie, nel caso si presentassero posizioni contrastanti), un compagno avrà funzioni di segretario, sintetizzerà cioè, alla fine di ogni fase di lavoro, ciò che è stato effettivamente eseguito dal gruppo in modo da richiamare alla riflessione su eventuali mancanze. I ruoli individuati sono:

- custode dei tempi (generali del lavoro e degli interventi nel gruppo)
- coordinatore
- mediatore discussione
- segretario

L'organizzazione del lavoro prevede due punti cardine:

- Fasi di lavoro
- Ricerca materiale
 - a) ambiti della ricerca
 - b) modalità

L'organizzazione del gruppo prevede tre punti cardine:

- **previsione dei problemi** che si possono verificare
- formulazione di soluzioni strategiche per **prevenire disagi** ai compagni del gruppo e all'insegnante.
- **distribuzione dei ruoli**, assegnazione dei ruoli ai componenti del gruppo

5.3. Le schede di documentazione sul fenomeno delle croste nere preparate dagli studenti.

Gli autori non hanno volutamente apportato modifiche o correzioni nemmeno in presenza di eventuali imperfezioni che possono essere presenti nei materiali prodotti.

Le Schede 1 e 2 sono riportate in calce (Allegato Scheda 1; Allegato Scheda 2)

Riferimenti bibliografici

- R.Yin “Case Study research: Design and Methods”, Newbury Park, Thousand Oaks, Sayel 1994
- Robert Eastlake “The Art of Case Study research”, Sage London 1995
- Michael Bassey “Case Study in educational settings”, Open University Press, Buckingham, Philadelphia 2000
- L.Cecconi (a cura di) “La ricerca qualitative in educazione”, Franco Angeli, Milano 2002
- H.Simmons “Towards a Science of a Singular Essays about Case Study in Educational and Research and Evaluation”, Centre for Applied in Education, University of East Anglia
- Case Study in International Encyclopaedia of Education
- G.Michelon, M.A.Carrozza, S.Rodato, S.Zanetti et al. “Tirocinio e Ricerca nell'indirizzo Scienze Naturali della SSIS Veneto: Biotecnologie in comunicazione”, Formazione & Insegnamento, 1,2, 2004, Pensa Multimedia

Note

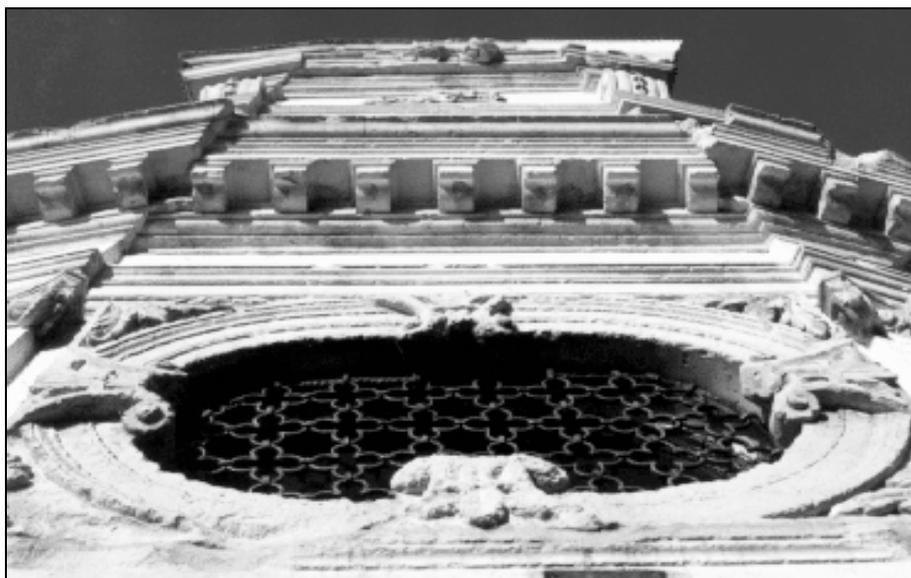
Prof.ssa Maria Antonietta Carrozza - Supervisore di tirocinio SSIS, docente SSIS di Laboratorio di Didattica della Chimica, è insegnante di Scienze nel Liceo scientifico “Fracastoro” di Verona ed ha introdotto e sperimentato l'innovazione della metodologia dello studio di caso applicata all'insegnamento scientifico già nel 2003; le attività descritte nell'articolo sono state svolte quasi esclusivamente presso detto Liceo nel 2005.

Prof. Gianni Michelon - Professore associato di Chimica Generale presso il Dipartimento di Chimica dell'Università Ca'Foscari di Venezia; coordinatore dell'indirizzo Scienze naturali della SSIS Veneto; docente di Chimica Generale ed Inorganica nel corso di laurea in Scienze e Tecnologie Chimiche per la Conservazione ed il Restauro della Facoltà di Scienze MMFFNN di Venezia, docente di Didattica della Chimica e di Fondamenti storico epistemologici della Chimica nella SSIS Veneto.

ALLEGATI

Allegato 1: osserva queste immagini ed illustra ciò che rilevi in relazione agli “oggetti” raffigurati.





Allegato 2

Compito di apprendimento 1

L'uscita didattica a Venezia e le diapositive mostrate dall'insegnante hanno messo in evidenza il degrado a cui vanno soggetti molti materiali lapidei monumentali esposti agli agenti atmosferici, quel che devi fare è discutere con i tuoi compagni e alla fine dell'ora di lezione consegnare all'insegnante l'esito della discussione che avrà come focus le seguenti linee guida:

- avete notato fenomeni analoghi a quelli osservati nella vostra città o nel territorio limitrofo? Se si portare esempi e descrivere eventuali analogie e differenze
- quali chiavi di interpretazione dobbiamo usare per il fenomeno? Pensate che le chiavi interpretative siano le stesse per la città di Venezia e per la vostra città?

Compito di apprendimento 2

- quali informazioni sarebbe utile cercare e dove, per tentare di capire che cosa è avvenuto sui manufatti degradati
- quali trasformazioni pensate abbiano interessato i materiali in questione? quali condizioni pensate possano favorirle?
- E possibile intervenire per risolvere questo problema, in che modo?

Allegato 3

Compito di apprendimento 3

Premessa

Dal lavoro nel gruppo classe è emersa la consapevolezza che per poter eseguire correttamente la pianificazione della ricerca occorre confrontarsi allo scopo di riflettere collettivamente e individuare le operazioni concrete che

occorre compiere per condividere i significati di ciascuna operazione. Tra tutte le operazioni possibili, il gruppo classe si è accordato su tre operazioni ritenute fondamentali, e sui significati ad esse attribuite.

Compito

Dopo esservi sistemati in piccoli gruppi secondo le modalità indicate dall'insegnante, svolgete, in forma scritta, il seguente compito di apprendimento che, per agevolare la comprensione della consegna, è stato articolato in punti:

1. individuate ed elencate le “buone domande” che occorre porsi per specificare in modo inequivocabile le parti o fasi costituenti l'organizzazione del lavoro
2. individuate ed elencate le “buone domande” che occorre porsi per delineare in modo preciso la ricerca dei materiali
3. individuate ed elencate le “buone domande” che occorre porsi per specificare in modo inequivocabile quale organizzazione del gruppo e quali modalità organizzative saranno funzionali ad un buon prodotto finale
4. Organizzate in tipologie “le buone domande” e individuate delle categorie sotto le quali farle rientrare.

Allegato 4

Compito di apprendimento 4

Premessa

Nell'attività di ricerca e di studio dei materiali avete trattato alcuni concetti chimici

Compito

Elenca i concetti a cui hai dovuto far ricorso per l'attività intrapresa, illustra come questi concetti ti sono stati utili per lo studio delle nuove conoscenze, e individua “le buone domande” che ti permetteranno di ampliare le conoscenze in questo campo.

SCHEDA 1

Materiali lapidei e degrado

Le domande a cui abbiamo tentato di dare una risposta sono:

- definire i materiali lapidei
- definire il degrado di questi materiali e descriverne i tipi fondamentali
- finalizzazione delle domande: inquadrare bene il fenomeno per decidere la direzione da intraprendere nella sua conoscenza.

Materiali lapidei, definizione:

Con il termine "materiali lapidei" si designano particolari tipi di roccia (aggregato naturale di minerali) aventi come caratteristiche la compattezza e la tenacia; più genericamente, vengono compresi anche tutti i materiali naturali predisposti alla levigatura e lucidatura. Questi materiali sono denominati, tecnicamente ed erroneamente, marmi; infatti il termine non è corretto poiché scientificamente i marmi sono solo determinati tipi di rocce metamorfiche aventi natura carbonatica e perciò costituite da calcite o dolomite.

Degrado, definizione:

Con il termine si intende l'insieme dei processi che modificano, in modo peggiorativo, l'assetto strutturale, morfologico ed estetico di un certo sistema.

Tipi di degrado

E' possibile la distinzione di 4 tipi differenti di degrado: fisico, chimico, chimico-fisico, biologico

Tutti questi tipi sono strettamente legati alla presenza di acqua. L'acqua può derivare da pioggia, nebbia e condensa. Quest'ultima si trova sulla superficie del materiale sotto forma di un sottile film e si origina quando la temperatura della superficie è più bassa di quella del punto di rugiada dell'aria circostante. La nebbia si origina invece quando nell'aria sono presenti nuclei di condensa e un'umidità prossima al 100%. I processi chimici principali che si sviluppano ovviamente in presenza di acqua, sono sostanzialmente tre: solubilizzazione, solfatazione e idrolisi. Dopo aver esposto i differenti tipi di degrado, tratteremo la solubilizzazione e la solfatazione, processi chimici che maggiormente sono responsabili del degrado dei monumenti lapidei di natura carbonatica.

Degrado Fisico

E' provocato da:

- microtraumi generatisi durante la lavorazione;
- uso errato della pietra (decorazioni, interferenza con altri materiali, es. ferro);
- sforzi eccessivi a cui è stato sottoposto il materiale in opera;
- effetti del vento: asportazione di parti superficiali (esempio tipico lungomare di Ortigia – Siracusa);
- effetti della luce che può innescare reazioni chimiche di ossidazione;
- effetti dell'aria o meglio delle escursioni termiche che implicano azioni meccaniche
- le escursioni termiche di notte che, a seconda dell'intensità, possono provocare contrazioni ed espansioni diverse in funzione del differente coefficiente di espansione posseduto dai tipi diversi di minerali che costituiscono le singole fasi cristalline delle rocce (es. granito, roccia polimineralica, e quasi tutte le rocce magmatiche, sedimentarie e metamorfiche).

Tali variazioni termiche comportano cambiamenti nelle dimensioni e nel volume; le pietre, quindi, in queste condizioni si possono inarcare e spaccare frantumandosi. Poiché le rocce sono cattive conduttrici di calore è possibile che la superficie si scaldi molto più degli strati sottostanti: per questo motivo dalla superficie possono staccarsi scaglie e frammenti.

Gli effetti delle sollecitazioni meccaniche sono più incisivi all'aumentare della frequenza rispetto all'entità dell'escursione termica. Ad esempio il verificarsi di brusche variazioni delle condizioni meteorologiche più volte durante una giornata (due acquazzoni giornalieri dopo una grande insolazione) invece che la sola escursione diurna/notturna.

Effetti dell'acqua che dilava o penetra per capillarità lungo i pori della roccia attraversandola nel caso in cui i microcanalicoli che si originano sono in comunicazione; la risalita capillare risulta essere inversamente proporzionale al diametro del capillare, può verificarsi fino a 15 metri; l'acqua in risalita trasporta sali in soluzione; i sali solubili possono ricristallizzare nuovamente per variazioni di temperatura (diminuzione) o evaporazione dell'acqua.

Nei climi caldi e secchi normalmente si verifica una variazione del potere solubilizzante della soluzione salina penetrata nei pori della roccia. Infatti la notevole velocità di evaporazione innesca processi di cristallizzazione che possono verificarsi all'interno dei capillari. La formazione di cristalli genera pressioni che possono determinare la fratturazione del manufatto (tipico esempio quello della Sfinge in Egitto)

Sali più presenti in queste soluzioni anche se dipendono dalla composizione della roccia, sono per lo più solfati, cloruri, carbonati e nitrati.

Effetto dell'acqua sui resti archeologici

- Efflorescenza salina: il sale è riuscito ad arrivare in superficie, causando imbianchimenti.
- Subflorescenza salina: il sale è rimasto sotto la superficie, causando distacchi.
- Gelo/disgelo: Variazione di volume nel passaggio da liquido a solido.
- gelivazione: dovuto a porzioni di acqua liquida intrappolate tra strati di ghiaccio. In questo caso si forma ghiaccio nei capillari più larghi, l'aumento di volume dell'acqua gelificata comporta lo sfaldamento a causa della diversa pressione interna.

In conclusione la causa del degrado fisico è da imputarsi alla struttura porosa del materiale lapideo.

Degrado chimico

Responsabile di questo degrado è l'inquinamento atmosferico, determinato dalla presenza di sostanze inquinanti, cioè sostanze non comprese nell'atmosfera o in eccedenza rispetto alla sua composizione normale, molte di queste sono nocive anche per le rocce oltre che per la salute dei biomi.

Origine del degrado chimico

Origina da: processi naturali (es. eruzioni vulcaniche) e da attività umane.

Gli inquinanti possono avere stato fisico gassoso o solido (aerosol).

Le sostanze nocive per le rocce e per i materiali lapidei sono tutte quelle sostanze che possono dar luogo ad acidi, in primo luogo abbiamo il: **Monossido di carbonio (CO)** (inquinante che non dà però luogo ad acidi)

Composto chimico binario, è un ossido (composto che si produce dalla combinazione di un non metallo, il C, con l'ossigeno).

Si produce nelle combustioni imperfette, è un veleno per i viventi aerobi, non ha invece effetti dannosi sulle opere d'arte.

Biossido di carbonio (CO₂)

Le attività umane (domestiche, industriali e disboscamenti) hanno comportato nei nostri giorni una esagerata emissione di anidride carbonica (CO₂) che, in presenza di acqua, forma soluzioni debolmente acide che degradano le rocce carbonatiche con un processo che possiamo descrivere a due stadi:

1° stadio:

nelle parti esposte dei monumenti lapidei, la CO₂ essendo un gas solubile in acqua e reagendo con questa, forma acido carbonico il quale determina la solubilizzazione della calcite e di tutte le rocce carbonatiche (rocce sedimentarie composte dal 95-100 % del minerale in questione) e perciò anche dei marmi (rocce metamorfiche derivate dalle prime e contenenti le stesse % del minerale).

La solubilizzazione della calcite e perciò delle rocce sopraindicate costituite da questo minerale è funzione dell'aumento della percentuale di anidride carbonica disciolta in acqua a causa della reazione: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

traducendo in lettere: Calcite + biossido di carbonio + acqua → bicarbonato di calcio

Caratteristiche dei due Sali: calcite è insolubile, bicarbonato è solubile

2° stadio:

nelle parti più coperte (sottoquadri) che comunque si bagnano ma non sono soggetti a fenomeni di asportazione di tutto il carbonato presente, il bicarbonato di calcio presente in soluzione reagisce nuovamente e, disidratandosi, può riformare carbonato di calcio. Si forma pertanto calcite di ricristallizzazione che, tuttavia, ha parametri fisici diversi (durezza, compattezza e tenacità) del materiale lapideo di partenza.

Effetti di questi fenomeni

Mentre dal punto di vista chimico non sono intervenute variazioni, in quanto i composti chimici implicati sono sempre CaCO₃ e Ca(HCO₃)₂, e il fenomeno di ricristallizzazione per disidratazione del secondo origina il primo composto che è sempre calcite, dal punto di vista strutturale e fisico, invece, sono intervenuti cambiamenti: il primo carbonato di calcio, infatti, è duro e compatto e poco solubile, il secondo è polveroso e più solubile. In conclusione, l'acido carbonico attacca il carbonato di calcio formando altro carbonato di calcio ma quest'ultimo avrà diversa struttura cristallina e resistenza minore. La calcite di cristallizzazione andrà a formare, insieme ad altri componenti, le **croste nere**.

Acido nitrico

Formula chimica HNO₃

I sali formati dall'acido nitrico hanno tutti una caratteristica: sono tutti solubili. (nitrati o nitriti)

Anidride solforosa o biossido di zolfo

Formula chimica: SO₂

è composto binario, è un ossido a carattere acido (il carattere si rivela allorché esso è messo a contatto con l'acqua) che si produce dalla combustione del carbone, della legna e dei derivati del petrolio. Si trova pertanto in atmosfera grazie alle emissioni dovute alle attività umane, industriali e domestiche.

Reagisce con l'ossigeno atmosferico, formando un **prodotto di ossidazione** chiamato **anidride solforica** o triossido di zolfo, la reazione si chiama **ossidazione**.

Nell'atmosfera sono presenti catalizzatori (nel nostro caso metalli e ossidi metallici), cioè sostanze di due differenti tipologie, la distinzione si basa sul tipo di funzione assoluta nei processi chimici. Alcune specie, infatti, possono accelerare la velocità dei processi chimici, altre specie possono rallentare la velocità dei processi chimici; in quest'ultimo caso occorre specificare accanto al termine catalizzatore la funzione, concettualizzata con il termine “negativo”. I catalizzatori (NB il termine non è seguito dalla parola “negativo”) sono specie chimiche che favoriscono il verificarsi di reazioni che altrimenti avverrebbero molto più lentamente, questi catalizzatori si trovano nell'atmosfera perché derivanti da polveri di asfalto e dai fumi di scarico dei veicoli a motore.

L'anidride solforica così originatasi, reagisce con l'acqua, al pari del biossido di carbonio e forma l'acido solforico che è uno degli inquinanti più pericolosi e responsabili delle piogge acide.

Gli acidi sono specie chimiche che possono reagire con basi (ad esempio con idrossidi o con ossidi di metalli) per dare sali, mediante reazioni di neutralizzazione o con altri sali, per dare sali differenti, mediante reazioni di spostamento.

Ad esempio, nel nostro caso, le soluzioni acide derivanti dalla reazione di acqua con anidride solforosa (piogge acide) possono reagire con il carbonato di calcio (dei materiali lapidei) trasformandolo in solfato di calcio biidrato, cioè gesso (reazione di solfatazione). L'acido solforico attacca, perciò, tutte le pietre e i materiali litoidi di origine calcarea trasformandoli in gesso.

In sintesi, tutti i carbonati in presenza di umidità tendono a reagire con l'anidride solforica (SO₃) che si produce nell'ambiente per ossidazione di parte dei gas di scarico delle automobili secondo la reazione: $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Processi chimici e fisici implicati

Solubilizzazione: la solubilità della calcite è di 14 mg/l ed aumenta direttamente in funzione dell'anidride carbonica disciolta nel solvente.

La concentrazione del biossido di carbonio in acqua è favorita dall'abbassamento di temperatura che perciò facilita la dissoluzione della CO₂ in acqua. L'acqua satura di CO₂ attacca quindi la calcite trasformando il carbonato di calcio in bicarbonato molto solubile. La velocità della reazione dipende da vari fattori:

1. le dimensioni dei cristalli
2. il grado di saturazione iniziale del solvente e quindi dalla diffusione degli ioni H⁺ dal solvente allo strato direttamente a contatto con il cristallo.
3. l'agitazione della soluzione e quindi la turbolenza di un flusso di acqua sulla superficie di un monumento che facilita la diffusione degli ioni H⁺.

In conclusione, quando l'acqua della pioggia più o meno acida, a seconda della situazione ambientale, viene a contatto con una superficie calcarea si possono verificare fenomeni di:

- a) solubilizzazione vera e propria
- b) fenomeni di corrosione.

Ricristallizzazione per evaporazione del solvente

La calcite solubilizzata dai processi di dissoluzione può anche riprecipitare in fase di evaporazione dell'acqua della soluzione, all'interno o all'esterno della pietra. In questo caso si producono incrostazioni bianche denominate “croste bianche”, in cui il carbonato di calcio ridepositato risulta più poroso e meccanicamente più debole di quello di partenza.

Solfatazione: con questo termine si indica il processo chimico di formazione del gesso dal carbonato di calcio ad opera dell'acido solforico. Il processo è preceduto, come già detto, da quello di ossidazione dell'anidride solforosa, che si trova nell'aria che può avvenire direttamente nell'atmosfera oppure sul materiale lapideo. Nel primo caso (ossidazione dell'anidride solforosa in atmosfera) sulla superficie della pietra si depositeranno gocce di pioggia acida, con acido solforico disciolto e di conseguenza queste soluzioni avranno un pH molto basso. Nel secondo caso è l'anidride solforosa, durante i fenomeni di condensazione, a disciogliersi nelle gocce d'acqua sulla superficie del materiale, dando origine ad una soluzione molto concentrata che può migrare all'interno della pietra.

Qui l' SO_2 , in presenza di catalizzatori, si trasforma in acido solforico e il suo assorbimento aumenta con l'incremento dell'umidità presente sul materiale lapideo; infatti quando l'umidità relativa passa dal 30 all'80% si ha un aumento del 90% nella deposizione di SO_2 . L'acido solforico può reagire con il carbonato di calcio producendo solfato di calcio o gesso. Il gesso che si forma è il costituente principale delle croste nere che si osservano sulle superfici lapidee riparate dall'azione diretta della pioggia. Tra gli altri costituenti le croste nere si annoverano: particelle carboniose, da cui il colore nero, particolato di varia natura mineralogica, calcite ricristallizzata, polveri di asfalto ecc. Al di sotto delle croste i processi chimico-fisici di solubilizzazione, corrosione e solfatazione possono continuare, in quanto, nella stagione secca possono verificarsi fratture presenti sulle croste stesse, che possono rappresentare vie preferenziali di penetrazione delle soluzioni acide che, in questo modo, possono raggiungere profondità sempre maggiori e trovando maggiori difficoltà di evaporazione danno luogo a processi ancora più marcati di degrado. E' da considerare il fatto che non tutto il gesso trovato nelle croste nere derivi da processi di solfatazione diretta delle superfici carbonatiche, esso può derivare anche dalla deposizione secca.

Processi Fisici veri e propri

L'acqua in fase liquida partecipa a processi di alterazione di tipo strettamente fisico e non collegati a processi anche chimici. Si tratta cioè, di azioni meccaniche causate dal fenomeno del gelo e disgelo o da quelle causate dalla cristallizzazione salina. Entrambi i fenomeni si verificano in funzione di particolari situazioni ambientali e le caratteristiche fisiche dei litotipi accentuano/influenzano l'azione dei processi di degrado.

Di grande importanza è il fenomeno alterativo legato alla dilatazione termica che è molto attivo in un sistema anisotropo (sistema avente proprietà fisiche diverse in funzione delle coordinate spaziali) come quello delle rocce. Nel caso dei marmi questo fenomeno risulta particolare: i marmi infatti costituiti integralmente da calcite risentono della ben definita anisotropia presentata da questo minerale, infatti, per quanto riguarda il coefficiente di dilatazione termica, esso si presenta positivo lungo l'asse cristallografico Z e negativo lungo l'asse ad esso perpendicolare. Per questo motivo, due cristalli di calcite orientati l'uno contro l'altro lungo l'asse Z, a causa di un innalzamento della temperatura, si espanderanno generando forze contrastanti che origineranno tensioni interne e zone di collasso nella direzione ad essa perpendicolare. Marmi con tessitura diversa reagiscono a questo fenomeno in modo diverso. Ad esempio, marmi che presentano contatti tra i bordi dei cristalli rettilinei, originano, se sottoposti a fenomeni di questo tipo, vere e proprie fratture e scollamenti con conseguente diminuzione della durata. Al contrario nei marmi che presentano una tessitura con contatti saturati la durata è maggiore. Quanto specificato ci consente di considerare che occorre mettere in relazione il tipo di ambiente in cui il manufatto è situato, con le caratteristiche composizionali e tessiturali di ciascuna tipologia di materiale lapideo utilizzato che si altererà in maniera diversa secondo tali caratteristiche. In particolare è importante conoscere e determinare alcune proprietà petrofisiche responsabili del trasporto dei fluidi e fra queste, la porosità e l'insieme dei parametri riferibili all'assorbimento e al desorbimento dell'acqua sia in fase liquida che di vapore, come pure occorre conoscere e determinare le leggi che regolano il suo trasporto all'interno del mezzo poroso.

Processi Biologici

I processi biologici sono anch'essi legati alla presenza di acqua che favorisce la crescita di organismi (microrganismi e piante) che esplicano varie azioni di tipo:

1. chimico come quella esercitata dai licheni che producono acidi sui minerali
2. fisico come l'azione meccanica esercitata dalle radichette dei muschi o dalle radici delle piante. Queste azioni provocano solubilizzazione e/o disgregazione nelle rocce. E' da sottolineare comunque che il processo di alterazione di una roccia e quindi di un materiale lapideo da esse derivato, è un fenomeno inevitabile, in quanto consiste in un processo di riadattamento chimico-fisico dei minerali costituenti il manufatto o la roccia stessa, alle nuove condizioni ambientali che risultano diverse da quelle presenti al momento della sua formazione o realizzazione. Gli interventi di restauro dei materiali lapidei, per questo motivo, possono tendere soltanto a rallentare questi processi di trasformazione, limitando l'azione dei principali agenti di degrado (acqua, inquinanti atmosferici, sbalzi termici, ecc.), senza la falsa speranza di poterli arrestare definitivamente.

Degrado chimico-fisico

È causato dai processi chimico-fisici e fisici già esposti, l'instaurarsi di trasformazioni chimiche di cui sopra crea notevolissimi aumenti di volume e se i processi si attuano in materiali ricoperti da cementi che restano inerti questi ultimi possono essere scalzati dall'aumento di volume del gesso sottostante. Se la reazione avviene a giorno il materiale gessoso viene facilmente dilavato dalle acque piovane, con il risultato che di un altorilievo scolpito su calcari rimane molto poco.

SCHEDA 2**Le croste nere**

Le pietre dei monumenti situati in climi umidi possono essere sottoposte a riscaldamento solare diurno ma, dopo il tramonto, esse si raffreddano per irraggiamento più rapidamente dell'aria (dovuto alla diversa conduzione del calore operata dai differenti stati della materia), per cui si origina un flusso di calore e di aria inquinata, umida e calda verso la superficie esposta dei monumenti che, fungendo da parete fredda, innesca il fenomeno della condensa dell'acqua. La condensa si manifesta ogni qualvolta in cui, in giornate umide, le superfici delle opere d'arte si trovano a temperatura inferiore a quella ambientale. L'acqua condensata contiene tutte le sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera e, nelle zone non dilavate, il tempo di contatto tra inquinanti e superficie è molto lungo man mano che l'acqua evapora e la soluzione si concentra. In queste condizioni perciò quando arriva sul velo liquido il biossido di zolfo, SO_2 e il particolato ricco di catalizzatori indispensabili per la sua ossidazione, si ha la trasformazione chimica ad SO_3 ed immediatamente la produzione di acido solforico il quale reagisce con il carbonato di calcio per dare **gesso**. Con l'irradiazione solare il solvente della soluzione salina così formata evapora, il gesso cristallizza e fa presa bloccando anche il particolato solido arrivato sulla superficie dando così luogo alla formazione di una crosta nera.

Le **croste nere** contengono quasi sempre atacamite (è un minerale, cloruro basico di rame. Il suo nome deriva dal deserto di Atacama, nel nord del Cile, dove fu scoperto da D.de Gallizen nel 1801. la Formula chimica è: $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$). In Italia è comune come microcristalli nella lave del Vesuvio, come risultato di alterazione di altri minerali di rame. Il campo di stabilità del minerale è tra pH 3.8 e pH 3.3. Il gesso, come unico componente principale, è presente, insieme all'ossalato di rame, nella zona protetta dal dilavamento. In molti prelievi di croste nere dai monumenti, sono stati individuati anche feldspati come componenti del particolato ed in qualche caso anche quarzo e sali come il solfato di piombo, presente in molte superfici dorate, come prodotto di corrosione.

Dai risultati ottenuti dalle analisi di croste nere in zone diverse, si è potuto evidenziare una certa variabilità dei costituenti stessi, il che implica l'adozione di metodi differenziati di pulitura e la difficoltà di rimozione dalla superficie dorata dei prodotti di corrosione, come il solfato di piombo che risulta praticamente insolubile.

Oltre al gesso si osservano calcite e ragguardevoli quantità di ossidi di ferro, tra cui la magnetite, che con ogni probabilità hanno origine industriale. Col tempo le croste nere tendono ad ispessirsi, indurirsi divenendo meno porose. In questo modo si accentua la diversità di comportamento meccanico e termico con la pietra sottostante. Per esempio, la crosta essendo di colore scuro tende ad assorbire più della pietra le radiazioni solari, con la conseguenza che le porzioni interessate dalle croste nere manifestano dilatazione termica maggiore delle porzioni non interessate dalle croste, questo porta all'insorgenza di fratture nei materiali. In alcuni casi dove deiezione di uccelli aggiungono materiali alle croste nere, sono stati identificati anche sali come fosfati di calcio e di potassio.

Analisi**chimiche**

Analisi chimiche qualitative sistematiche relative a tutti i componenti delle croste nere, sono state intraprese da poco tempo, Fin ad ora sono state oggetto di analisi quantitative, anche molto dettagliate, solo alcuni metalli e sali. Recentemente EniTecnologie ha posto l'attenzione sullo **stato di conservazione del marmo di Candoglia**, con particolare riguardo ai fenomeni di degrado identificabili con la presenza di depositi di colore scuro (**croste nere**), particolarmente evidenti nelle zone caratterizzate da scarso dilavamento e/o di ristagno dell'acqua.

Per lo studio di questi fenomeni, i tecnici hanno optato per un approccio combinato di **indagini analitiche** condotte in laboratorio su piccoli frammenti prelevati dalla facciata e **indagini spettrometriche** effettuate direttamente sulla facciata.

Si è compreso che le croste sono costituite da composti di calcio: oltre alla calcite (carbonato di calcio, costituente il marmo), contengono infatti solfato di calcio e in misura minore quarzo, alluminosilicati, probabilmente derivati dalle polveri atmosferiche, e, in bassa quantità, ossalati di calcio. La colorazione scura delle croste è, invece da attribuirsi all'inglobamento di materiale organico e carbonioso presente nell'aria, secondo quanto si pensava.

Le tecniche analitiche

I frammenti prelevati dalla facciata sono stati esaminati in **laboratorio** per studiare la morfologia e la composizione delle croste superficiali e del marmo di Candoglia prima e dopo le operazioni di pulitura. Le tecniche utilizzate per le **indagini morfologiche e composizionali** sono la microscopia elettronica a scansione accoppiata alla spettroscopia a raggi X dispersi in energia. La diffrattometria a raggi X da polveri e la termogravimetria sono state impiegate per determinare la composizione delle croste in termini di fasi cristalline.

EniTecnologie ha messo in campo le proprie competenze e la sofisticata strumentazione di cui dispone nei propri laboratori. Abbiamo chiesto all'insegnante di prendere contatto con questi esperti in modo che ci parlino e ci spieghino queste tecniche.

Le tecniche spettrometriche

Tutto quanto rilevato in laboratorio è stato poi confermato da analisi condotte direttamente sulla facciata utilizzando uno **spettrometro a raggi X portatile**, frutto di un particolare progetto di sviluppo condotto congiuntamente dal Politecnico di Milano e da EniTecnologie nell'ambito di un progetto finanziato dalla UE. Anche relativamente a questo progetto abbiamo chiesto all'insegnante di prendere contatto con il politecnico di Milano, per effettuare una visita o un incontro con gli esperti.

Il Problem Solving in chimica

Norman Reid¹, Liberato Cardellini²

¹Centre for Science Education, University of Glasgow, UK. n.reid@mis.gla.ac.uk

²Università Politecnica delle Marche, Ancona. libero@univpm.it;

Riassunto

Ciò che viene descritto come *problem solving* spesso significa applicare procedure già conosciute per risolvere ciò che dovremmo chiamare esercizi. I problemi reali sono quelli che per la loro soluzione è richiesto un lavoro impegnativo, in cui non tutti i dati sono noti, oppure lo scopo non è specificato completamente o il metodo non è familiare. L'attività *problem solving* è complessa e la possibilità di avere successo è influenzata da diversi fattori: le esperienze e conoscenze precedenti, la conoscenza delle idee e dei concetti, la possibilità di eseguire processi di chunking in modo che la memoria di lavoro dell'individuo possa operare senza essere sovraccaricata e da come la conoscenza precedente è stata collegata con quanto esisteva nella memoria a lungo termine.

Dalle evidenze disponibili viene arguito che l'abilità *problem solving* non è un'abilità generica in quanto gli approcci utilizzati nella soluzione dei problemi sembrano essere dipendenti dal contesto. Ed è difficile insegnare *problem solving* con l'usuale didattica frontale in quanto i metodi di soluzione sono troppo complessi per essere appresi, e comunque non risultano efficaci in assenza di una forte motivazione. Un possibile progresso risiede nell'offrire agli studenti la possibilità di fare molta esperienza in un ambiente didattico che li motivi senza il rischio di fare figuracce quando non trovano la soluzione, così che nel tempo con l'esperienza cresca la fiducia nelle proprie capacità. Un approccio utile è l'utilizzo dell'apprendimento cooperativo dove gli studenti lavorano in gruppo sui problemi; questo approccio ha il vantaggio di essere ben accetto e sviluppa negli studenti un atteggiamento positivo verso la sfida costituita dalla soluzione del problema.

Abstract

In chemistry, what is described as problem solving is often little more than the correct completion of exercises, where routine procedures are used to solve familiar problems. Real problems are those where the data are not all given or the goal is not specified totally or the method is not completely familiar. There are several factors which will influence problem solving success: prior knowledge and experiences, understanding of conceptual ideas, whether the working memory capacity of the individual is large enough to

cope, and how past knowledge is linked in long term memory. In real life, problems are often solved by groups of people not by individuals. From the evidence available, it is argued that problems solving is not a generic skill in that the approaches adopted seem to be essentially context dependent. It is difficult to teach problem solving in that the methods are too complex for the learner to grasp. The key way forward is to offer the learners much experience, in an unthreatening atmosphere, of problem solving activities so that confidence and experience can build over time. Indeed, the scope for widening problem solving experiences in chemistry is very large. A useful approach is the use of group problem solving tasks which have the added bonus of being well accepted by students leading to positive attitudes.

Introduzione

Nell'insegnamento della chimica a livello universitario le abilità connesse col *problem solving* sono in genere ritenute importanti. Tuttavia, la frase '*problem solving*' può essere compresa in vari modi. Con *problem solving* si possono intendere le abilità associate con la soluzione di problemi numerici, sia del calcolo stechiometrico che associate alla chimica fisica, ma anche le abilità pratiche associate ai problemi di laboratorio. È considerato ugualmente *problem solving* l'insieme delle attività necessarie per risolvere problemi della vita reale, come la scelta della vacanza o arrivare alla fine del mese con una disponibilità limitata di denaro o problemi ambientali come la diminuzione dello strato di ozono.

La maniera con cui risolviamo i problemi dipende dalla nostra esperienza e dalle nostre conoscenze. Queste differenze sono dovute principalmente alla qualità dei processi cognitivi e alla maniera in cui sono organizzate le informazioni nella nostra mente.

Diventare abili nel *problem solving* richiede molto impegno e molto tempo; quando il problema è complesso, è necessario mettere insieme la conoscenza teorica, le leggi e le formule in modo finalizzato e poi verificare che il procedimento risolutivo sia corretto dal punto di vista logico. Nei confronti dei problemi stechiometrici gli studenti sono poco motivati per lo sforzo mentale che essi richiedono e magari perché li sentono lontani dai loro interessi, ma anche per l'eterogeneità degli argomenti e dei metodi di approccio alla soluzione.

Forse il maggior colpevole per questa situazione è il modo in cui li presentiamo: non una sfida alla capacità di ragionare in modo scientifico e alle conoscenze possedute, ma una successione di precisi passaggi che portano alla soluzione, senza capirne il perché.

Che cos'è un problema?

Molti anni or sono, John Hayes ha definito problema ciò che esiste “quando c'è un gap tra dove uno si trova ora e dove vuole arrivare, e non conosce come trovare la maniera di arrivarci” [1]. Affinché si possa parlare di ‘problema’ è perciò necessario che il solutore sperimenti delle difficoltà e che immediatamente non riesca a definire le azioni necessarie per passare dallo stato iniziale (S_i) allo stato finale (S_f). Perciò “la condizione di ‘problema’ non è una caratteristica innata della questione, ma è un’interazione tenue tra la questione e l’individuo che tenta di rispondere alla questione.” [2]

Chittleborough [3] suddivide i problemi in ‘chiusi’ e ‘aperti’. Secondo Frazer [4], i problemi aperti sono quelli che ammettono diverse soluzioni, mentre i problemi che hanno un’unica risposta si definiscono problemi chiusi. Perciò, i problemi incontrati in classe sono problemi chiusi, mentre i problemi incontrati nella vita reale, spesso sono problemi aperti.

Ancora, possiamo distinguere tra problemi ben definiti e problemi mal definiti (well-defined and ill-defined problems). Un problema ben definito è un problema che in modo implicito o esplicito fornisce quattro differenti tipi di informazioni: [5]

- 1 - informazioni sullo stato iniziale del problema;
- 2 - informazioni circa lo scopo del problema;

3 - informazioni sugli operatori che lecitamente si possono applicare;

4 - informazioni sulle restrizioni che riguardano gli operatori.

Glover *et al.* [6] hanno asserito che i problemi più significativi del mondo reale sono mal definiti. Nella letteratura si possono trovare molte definizioni di problem solving. Secondo Wheatley [7] problem solving è “ciò che si fa quando non si sa cosa fare”, mentre per Holroyd [8] “problem solving è un processo attraverso il quale si scopre una combinazione di regole apprese precedentemente che possono essere applicate per trovare la soluzione in una nuova situazione”. Ashmore *et al.* [9] hanno definito problem solving come il risultato dell’applicazione della conoscenza e di procedure ad una situazione percepita come problema.

Classificazione dei problemi

I problemi sono stati classificati in differenti maniere. Per esempio Greeno [10] e Greeno e Simon [11] hanno proposto una tipologia di quattro tipi di problemi: trasformazione; adattamento; struttura indotta e argomenti deduttivi. Una classificazione molto utile per tipi di problemi è quella di Johnstone [12] che considera le tre variabili associate con tutti i problemi: i dati, il metodo da usare e lo scopo che deve essere raggiunto. Johnstone suggerisce che ad *ogni* problema possono essere associate tre variabili: i dati disponibili, il metodo di soluzione e lo scopo che deve essere raggiunto. Considerando le possibilità limiti dove ciascuna variabile può essere nota o incognita, risultano otto tipi diversi di problemi, come riportato in Tabella 1.

Tabella 1. Classificazione dei problemi [12].

Tipo	Dati	Metodi	Richiesta	Abilità richieste
1	Noti	Familiari	Conosciuta	Utilizzo di un algoritmo
2	Noti	Sconosciuti	Conosciuta	Ricerca di analogie tra i metodi conosciuti
3	Incompleti	Familiari	Conosciuta	Analisi del problema per stabilire quali altri dati sono richiesti
4	Incompleti	Sconosciuti	Conosciuta	Soppesare i possibili metodi e poi decidere sui dati richiesti
5	Noti	Familiari	Aperta	In base alla conoscenza posseduta è necessario stabilire lo scopo
6	Noti	Sconosciuti	Aperta	È necessario stabilire lo scopo e scegliere i metodi appropriati. Esplorazione delle conoscenze teoriche e delle tecniche risolutive.
7	Incompleti	Familiari	Aperta	Specificato lo scopo, lo studente deve ricercare altri dati
8	Incompleti	Sconosciuti	Aperta	È necessario definire le tre variabili. Tutte le abilità riportate sopra.

Questa analisi semplice ma profonda offre un sistema per classificare ciascun problema, sia delle diverse aree educative, che della vita e che vale per tutti i tipi di problemi. I problemi di tipo 1 e 2 sono gli usuali problemi che si trovano nei libri di testo e nei compiti di esame; i problemi di tipo 1 sono di natura algoritmica e richiedono l'applicazione di qualche formula. I problemi di tipo 1 sono considerati "esercizi", benché molti problemi nei compiti di esame tendono ad essere di questa forma.

Avendo l'insieme dei dati incompleto, i problemi di tipo 3 e 4 sono più complessi, ma non necessariamente più difficili. Essere capaci di trovare e utilizzare dati rilevanti, sapere cosa cercare e come usare le informazioni è un'abilità fondamentale. I problemi del tipo dal 5 all'8 hanno lo scopo non definito; sono di tipo "aperto". Certamente, più ci spostiamo verso i problemi di tipo 8, più ci avviciniamo ai problemi della vita reale.

Si può essere tentati dal considerare questa suddivisione in tipi di problemi come una sorta di gerarchia delle difficoltà. Tuttavia Johnstone [12] non ha inteso questi tipi come una forma gerarchica. Questa classificazione non implica affatto che procedendo dal tipo 1 al tipo 8 si ottenga lo sviluppo di abilità nel problem solving. Ci sono alcune domande sulle quali vale la pena riflettere:

a) *Perché l'abilità nel problem solving è spesso ritenuta importante?*

b) *Quali sono le caratteristiche di una persona abile nel problem solving?*

c) *Le abilità problem solving si possono insegnare?*

d) *Le abilità problem solving sono trasferibili?*

Per gli studenti di chimica l'abilità problem solving è molto importante: nelle attività professionali uno dei compiti più importanti è quello di saper risolvere problemi chimici. Questo può significare problemi di ricerca, lo sviluppo di metodiche analitiche semplici e affidabili, lo sviluppo di apparecchiature sofisticate, e magari l'organizzazione di situazioni sperimentali appropriate che permettano ai propri studenti di imparare la chimica.

Si è portati a pensare che essendo abili nel problem solving in una certa area aiuterà la soluzione di problemi in altri settori, ma ci sono deboli evidenze a supportare l'idea che l'abilità problem solving sia un'abilità generica trasferibile; anzi, molte evidenze suggeriscono il contrario. Insegnare le tecniche di problem solving potrebbe risultare una maniera poco produttiva per sviluppare le abilità. Tuttavia è possibile definire le caratteristiche che rendono una persona un buon solutore di problemi chimici.

Fattori che influenzano il successo nel problem solving

Gabel e Bunce [13] hanno riportato i risultati di molte ricerche sul problem solving in chimica e hanno identificato alcuni dei fattori principali che influenzano la capacità di risolvere i problemi. Va ricordato che questo studio precede la classificazione di Johnstone dei tipi di problemi e per la mancanza di chiarezza in alcuni studi considerati su ciò che si intende per problema, l'enfasi è

sul tipo di problemi affrontati dagli studenti di chimica che spesso si avvicinano al tipo che chiamiamo esercizi. Lo studio suggerisce un modello generale che deriva dai seguenti fattori:

1. La conoscenza e le esperienze precedenti

Ciò che una persona conosce e come lo conosce è importante come la confidenza che deriva dalle precedenti esperienze nel problem solving [9, 14, 15]. Il sapere precedente è memorizzato dalle reti neurali come un net-work di conoscenze, concetti ed esperienze nella memoria a lungo termine. Ashmore *et al.* [9] arguiscono che il successo nel problem solving in chimica dipende da una combinazione di fattori composta da una robusta preparazione chimica di base, dalla conoscenza di strategie e tattiche problem solving e dalla confidenza. La prima è importante e la confidenza riveste invece un ruolo critico e verrà discussa nel seguito.

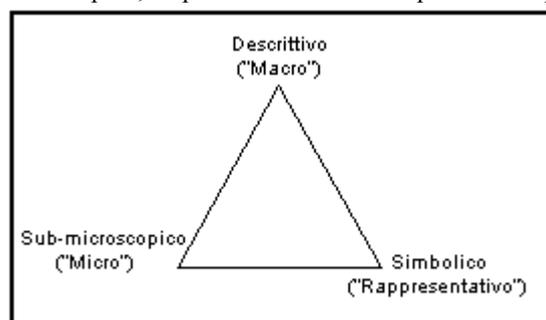
La conoscenza di strategie implica la loro esistenza; però, se questo è vero per problemi algoritmici, è molto meno vero per problemi aperti e certamente è irrilevante, anche se la conoscenza mai nuoce, quando il metodo da usare è sconosciuto al solutore (tipi 2, 4, 6 e 8 riportati in Tabella 1).

Vari studi hanno mostrato che gli studenti non possono o non vogliono usare metodi pianificati di soluzione dei problemi [14, 16, 17]. Gli studenti tendono a procedere per tentativi, percorrendo vie che sembrano loro ragionevoli nella speranza di giungere alla soluzione o per vedere dove possono arrivare.

Benché la conoscenza precedente sia essenziale [4], molti studi hanno indicato che gli studenti possono fallire la risoluzione dei problemi anche se posseggono il requisito della conoscenza concettuale [18-21]. C'è coinvolto qualcosa di più importante della conoscenza e studi recenti hanno fornito alcuni suggerimenti [17] e questo verrà discusso più avanti.

2. Acquisizione concettuale delle idee

Alcuni argomenti scientifici sono difficili da imparare. Johnstone [22] ha mostrato che le conoscenze di chimica coinvolgono tre differenti livelli concettuali: il livello macroscopico, quello sub-microscopico e quello



simbolico.

Figura 1. Il triangolo chimico [22].

Per gli studenti la comprensione diventa difficile se devono imparare questi tre aspetti simultaneamente [23]. L'origine di questa difficoltà risiede nella maniera in cui la memoria di lavoro opera. La memoria di lavoro è la parte del cervello dove una persona pensa e cerca di comprendere. È anche la parte del cervello che utilizziamo quando cerchiamo di risolvere dei problemi. Se la capacità limitata della memoria di lavoro viene riempita dalle informazioni che facciamo fatica a comprendere non ci sarà spazio sufficiente per operare l'elaborazione delle informazioni, così la soluzione dei problemi risulterà molto difficile o impossibile [24, 25].

Diversi studi di ricerca indicano che gli studenti incontrano una grande difficoltà con il livello sub-microscopico e sviluppano molte idee scientifiche sbagliate [26-28]. Questo può essere rilevante nella soluzione dei problemi chimici: se un problema richiede di muoversi tra i tre livelli con confidenza, allora le difficoltà concettuali si incontreranno sin dall'inizio e renderanno impossibile la soluzione corretta dei problemi.

Lythcott [28] ha mostrato che il possesso della conoscenza non necessariamente significa l'essere in grado di comprendere il processo problem solving. Se vogliamo che i nostri studenti siano capaci di risolvere i problemi è essenziale aiutarli a *comprendere* la conoscenza richiesta e dunque non accontentarsi che posseggano questa conoscenza in modo mnemonico.

Numerosi studi hanno mostrato che la soluzione algoritmica di problemi chimici non produce negli studenti la

comprensione concettuale [25, 29-32]. Ciò di nuovo enfatizza il fatto che l'insegnamento delle procedure deve essere fatto con la dovuta cautela. Gli studenti potrebbero memorizzare le procedure e non fare affidamento sulla reale comprensione concettuale dei concetti coinvolti; dovendo affrontare nuovi problemi non saprebbero così da dove incominciare [33].

Ciò non significa che le procedure non debbano essere insegnate. Sottolinea però il fatto che se gli studenti sono capaci di applicare le procedure, non necessariamente capiscono ciò che stanno facendo in termini di comprensione concettuale della conoscenza chimica coinvolta. Le procedure devono essere insegnate in modo da collegarle saldamente alla comprensione dei concetti coinvolti.

3. La struttura cognitiva e il problem solving

Quando si parla di strutture cognitive è importante comprendere almeno a grandi linee come lavora il cervello quando si apprende. La memoria di lavoro è dove avviene la comprensione e dove ragioniamo per risolvere i problemi, mentre la memoria a lungo termine è dove le informazioni, i concetti, i ricordi, le emozioni e le esperienze sono conservate. Ci sono diverse maniere per illustrare le evidenze acquisite dalla ricerca, ma molte sono simili. Qui riportiamo il modello di Johnstone perché è stato sviluppato nel contesto dell'apprendimento della chimica.

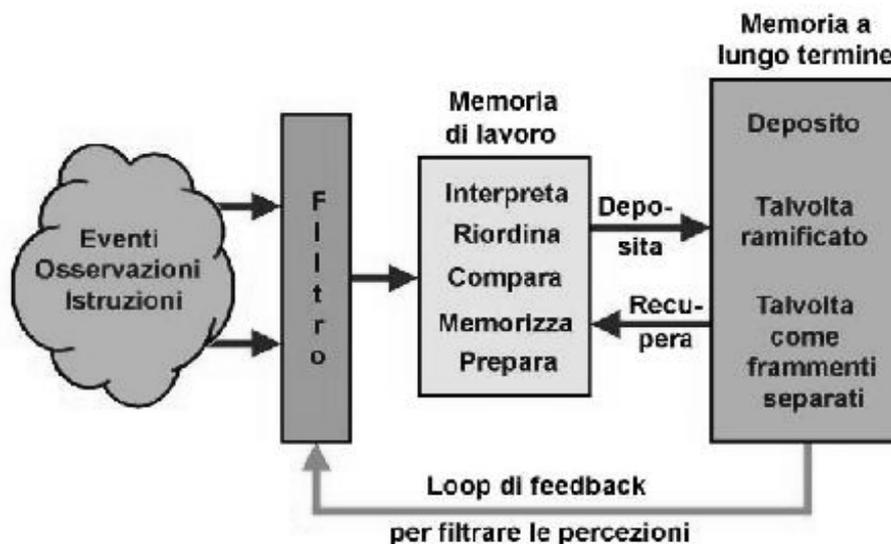


Figura 2. Il modello dell'elaborazione delle informazioni [34]. Riprodotto col permesso dal Journal of Chemical Education, Vol. 74, n. 3, 1997, pp. 262-268.

Quando una persona affronta un problema, molti eventi, informazioni, osservazioni e istruzioni arrivano dall'esterno nella memoria di lavoro dove vengono selezionate e ordinate sulla base di ciò che una persona già conosce e capisce (conoscenza conservata nella memoria a lungo termine). Altre informazioni e conoscenze vengono richiamate dalla memoria a lungo termine nella memoria di lavoro. La capacità della memoria di lavoro è però limitata e fissa [35], mentre la capacità della memoria a lungo termine appare infinita.

Questo modello è stato sviluppato sulla base di evidenze accumulate in decenni di studi e ricerche. Esso suggerisce che il successo nella risoluzione dei problemi dipende da:

- a) La maniera con la quale le informazioni sono selezionate e portate al cervello. La selezione delle procedure avviene sulla base della conoscenza precedente [36] e ciascuno ha un'abilità diversa nel selezionare ciò che è rilevante per il compito da risolvere dal resto. Questa abilità è stata descritta come dipendenza dal campo. Witkin e Goodenough [37] hanno usato la frase *dipendenza dal campo* per quelli che non possono separare ciò che è rilevante dal circostante campo di informazioni, e *indipendenza dal campo* per quelli che riescono a separare ciò che è rilevante dal circostante campo di informazioni. I lavori di Johnstone e El-Banna [22] e Johnstone e Al-Naeme [38] hanno trovato che lo stile dipendenza dal campo è in relazione con i risultati in chimica e questo è stato confermato da studi recenti [39-45].
- b) La persona deve necessariamente trasferire informazioni, argomentazioni, procedure, dalla memoria a lungo termine alla memoria di lavoro, nel luogo della mente che usiamo per ragionare, comprendere e risolvere i problemi. Il grado di successo del processo di trasferimento dipenderà da quanto la conoscenza memorizzata sia stata compresa concettualmente e se l'accesso può avvenire in modo significativo [17].
- c) Il ruolo della memoria di lavoro è critico. È stato ripetutamente dimostrato, per esempio [23], che se troppa informazione deve essere contemporaneamente trattenuta ed elaborata nella memoria di lavoro, allora la riuscita è quasi impossibile. La capacità limitata (e fissa) della memoria di lavoro è risultata essere lo stadio determinante nell'apprendimento di una materia concettuale come la chimica [34]. La ragione per cui certi argomenti della chimica sono notoriamente difficili è perché questi argomenti richiedono che un numero molto elevato di informazioni siano considerate *allo stesso tempo* affinché la comprensione possa avere luogo.

In una serie di studi sulla risoluzione di problemi chimici Niaz [46-50] ha evidenziato non solo che la capacità della memoria di lavoro è una variabile importante, ma anche

che altre variabili come lo stile cognitivo degli studenti e le strutture di ragionamento formale-operazionale hanno la loro parte. Non solo la capacità della memoria di lavoro è limitata, ma anche i tentativi di sovraccaricarla sono certamente destinati al fallimento. Per contro, ci sono evidenze che lo stile dell'indipendenza dal campo può essere sviluppato, benché come possa esserlo non è per niente certo [51].

Considerando la memoria a lungo termine possiamo avere altri suggerimenti su come si possano migliorare le capacità problem solving. Quando una persona capisce un'idea, questa viene collegata in modo corretto e in varie direzioni ai concetti precedentemente appresi e a ciò che già si conosce. Ma è anche possibile che i nuovi concetti vengano memorizzati come informazioni isolate o che i collegamenti alla conoscenza precedente avvengano in modo non corretto [34]. Ciò trova in parte una corrispondenza con quanto Ausubel [36] affermava a proposito della differenza tra apprendimento significativo e a memoria. Questo spiega anche l'esistenza delle concezioni alternative o sbagliate: possono stabilirsi quando le nuove idee vengono collegate in modo non corretto a quanto precedentemente appreso (che potrebbe risultare anche non adeguato).

Alcuni aspetti delle strutture cognitive sono stati considerati importanti fattori che possono influire sulla capacità di risolvere i problemi [21, 52]. Kempa e Nicholls [53] hanno usato i risultati di chimica e il test delle associazioni di parole per esplorare la relazione tra la struttura cognitiva degli studenti e le loro abilità problem solving nel contesto della chimica. Hanno trovato che le strutture cognitive dei buoni risolutori di problemi sono più complesse e contengono più associazioni di quelle degli studenti deboli nel problem solving. La forza dei collegamenti tra differenti concetti sembra importante nel determinare il comportamento nel problem solving. È anche stato rilevato che le deficienze nelle strutture cognitive degli studenti deboli nel problem solving vengono rivelate soprattutto per i concetti astratti. Benché questo studio impiega problemi di natura algoritmica o esercizi, i risultati probabilmente si applicano anche a problemi più aperti.

In uno studio esteso sull'analisi del problem solving in chimica nelle scuole superiori, un insieme di 14 problemi aperti è stato sviluppato e usato [17]. Le conclusioni sono che:

a) Il possesso della conoscenza appropriata è essenziale; deve essere collegata in modo corretto nella memoria a lungo termine e deve essere accessibile.

b) La conoscenza sembra esistere nella memoria a lungo termine come "isole" e gli studenti di questa età (14-17 anni) se non vengono aiutati hanno grande difficoltà nel formare i collegamenti tra le "isole".

c) I collegamenti tra i concetti nella memoria a lungo termine devono essere stabiliti in entrambe le direzioni per poter essere applicati in modo efficace. I collegamenti inappropriati possono condurre alla soluzione sbagliata dei problemi.

d) Nell'affrontare questi problemi c'è una inabilità o mancanza di volontà di pianificare la soluzione. Questa potrebbe essere una conseguenza della mancanza di collegamenti chiave tra le "isole" della conoscenza. Non ci sono formule da applicare e gli studenti non sanno vedere i passaggi logici che conducono alla soluzione.

Abilità e rappresentazione del problema

Mentre la capacità di risolvere i problemi dipende certamente da ciò che la persona conosce e può accedere [9], l'abilità a fare collegamenti importanti è un prerequisito per il successo [53]; questo è anche supportato dal lavoro di Reid e Yang [17] sui problemi aperti.

Se la capacità di fare questi collegamenti importanti tra le varie "isole" di conoscenza è decisiva, allora il problem solving dipende necessariamente dal contesto: la disponibilità di informazioni rilevanti e i collegamenti tra le informazioni nella memoria a lungo termine faranno la differenza. Probabilmente, la persona con tali collegamenti ha un grado di confidenza tale che gli permette di correre il rischio insito nello sviluppo di nuovi collegamenti. Infatti, la confidenza viene sviluppata dall'esperienza, specialmente dalla percezione di aver avuto successo.

La persona che dispone di un bagaglio di esperienze positive nell'affrontare problemi potrà accettare il *rischio cognitivo* connesso con l'esplorare nuove possibilità o decidere in condizioni di insicurezza. L'esperienza potrebbe essere sufficiente al solutore per permettergli di specificare lo scopo e trovare i metodi risolutivi con maggiore confidenza ed essere capace di trovare e gestire le nuove informazioni.

Mentre è possibile insegnare abilità procedurali, risulta difficile insegnare le abilità risolutive per i problemi aperti, dato che questi coinvolgono un tipo diverso di abilità. Dalle evidenze ottenute, Reid e Yang [17] arguiscono che l'esperienza e la pratica possono essere una strada percorribile. Gli studenti hanno bisogno di guadagnare confidenza e per questo ci vuole incoraggiamento e supporto. Ciò aumenta la volontà di accettare rischi cognitivi e diventare abili nella soluzione di problemi.

Ci sono tuttavia delle abilità che sono di natura generica. Greenbowe [54] ha trovato che chi riesce a risolvere problemi mostra di avere alcune abilità come l'organizzazione, la persistenza, la valutazione, la capacità di compiere operazioni formali e il ricorso a euristiche in modo più marcato rispetto a chi non riesce a risolvere problemi. Ma queste abilità vengono personalmente sviluppate o possono essere insegnate a tutti?

Anche le abilità della rappresentazione del problema sono importati, specie per risolvere problemi difficili [55] e queste abilità possono essere insegnate. Attività quali immaginare, dedurre, prendere decisioni e ritrovare informazioni dalla memoria vengono usate per aiutare gli studenti a capire il problema.

Hayes [1] parla di rappresentazione interna come di ciò che riflette l'immagine degli oggetti e delle relazioni nella propria mente. Hayes parla anche di una rappresentazione esterna: è ciò che creiamo con disegni, grafici, diagrammi, scrivendo simboli o equazioni. Bodner e Domin [55] discutono dell'utilità delle rappresentazioni nei problemi chimici e concludono che una delle differenze caratteristiche tra chi riesce a risolvere i problemi e chi no, è il numero e il tipo di rappresentazioni utilizzate nel problema.

Gli studenti vanno incoraggiati a rappresentare le situazioni descritte nei problemi con diagrammi, equazioni, disegni e grafici. Tuttavia, se non si possiede la conoscenza necessaria per la comprensione concettuale e l'interpretazione, la rappresentazione esterna risulterà irrilevante. Inoltre, queste rappresentazioni potrebbero peggiorare la situazione se causano un sovraccarico della memoria di lavoro.

Per diventare abili nel calcolo stechiometrico è necessario apprendere o possedere capacità di operare con le strutture mentali del pensiero formale. "Il ragionamento proporzionale, il ragionamento ipotetico-deduttivo e l'abilità a pensare in termini di atomi e molecole ... giocano un ruolo importante in chimica." [56]

Approccio individuale e di gruppo

Nello studio descritto da Reid e Yang [17] gli studenti lavorano in gruppi di tre. Nella vita, l'attività problem solving è soprattutto un processo cooperativo nel quale alcuni individui lavorano insieme per raggiungere uno scopo condiviso [57]. Nella letteratura si trova una vasta quantità di ricerche che dimostrano l'efficacia del lavoro di gruppo. La natura e le possibili interazioni tra piccoli gruppi cooperativi è stata descritta da Slavin [58]; diversi studi hanno esaminato l'effetto dei gruppi cooperativi sull'apprendimento e i risultati nelle scienze [59-63].

Nell'insieme i risultati suggeriscono che l'approccio cooperativo è efficace, sia nei problemi algoritmici che in quelli concettuali. I problemi mal-definiti richiedono la generazione di nuove rappresentazioni e procedure creative. Il lavoro di gruppo può essere utile perché permette agli individui di scambiare idee, costruire una rappresentazione condivisa e tentare soluzioni che individualmente non verrebbero considerate.

Nonostante il fatto che ci sia un accordo generale sul fatto che i gruppi cooperativi aumentino la possibilità di successo nel problem solving, non è ancora stato compreso come le dinamiche interne al gruppo determinino l'approccio del gruppo ai problemi. Inoltre altri fattori possono influenzare l'efficacia della cooperazione, come la leadership del gruppo, gli stili di apprendimento degli studenti e il loro sviluppo cognitivo. Basili e Sanford [60] hanno trovato che leader inadatti impediscono una discussione efficace imponendo la loro visione ridotta del problema da risolvere. In uno studio sono state usate diverse situazioni problem solving come strumento per esplorare lo sviluppo di attitudini sociali nell'ambito della chimica [64].

Questo ha portato allo sviluppo di molte unità interattive che possono essere considerate come problemi di gruppo [65-67]. Queste unità, che durano da 45 a 180 minuti, sono risultate molto efficaci nello sviluppo delle attitudini, di abilità sociali e nel preparare gli studenti con una mentalità più vicina all'ambiente del lavoro, al lavoro di gruppo, alla gestione e interpretazione dei dati, come pure alle abilità della comunicazione.

Insegnamento e problem solving

È necessario valutare alcune importanti domande: perché si dovrebbe insegnare il problem solving? Può essere insegnato? Quali tipi di problemi sono più adatti a tale insegnamento? Molti degli studi riportati assumono che le abilità problem solving possano essere insegnate. Tuttavia, esistono scarse evidenze che queste abilità siano trasferibili.

Risulta che c'è un gap tra la comprensione concettuale e la soluzione algoritmica di problemi chimici nei diversi ordini di scuola [25, 68-70]. Questo può essere conseguenza della maniera tradizionale di insegnare, che tende a focalizzarsi sulla risposta numerica corretta. Sembra chiaro che se lo scopo dell'insegnamento della chimica è quello di preparare gli studenti a ragionare e risolvere problemi concettuali, come pure problemi algoritmici, allora è necessario insegnare in un modo diverso [32, 71]. In uno studio svolto utilizzando due problemi aperti di biologia, Gayford [72] suggerisce che un approccio logico al problem solving può costituire le basi di un modello di insegnamento e di valutazione dei risultati di gruppo nelle scienze. Tingle e Good [59] suggeriscono che i gruppi cooperativi costituiscono una strategia alternativa proponibile per il problem solving in chimica. I gruppi cooperativi possono formare un ambiente attivo dove gli studenti possono praticare, dibattere e costruire la soluzione dei problemi, al posto dell'apprendimento passivo; per questa via è possibile aumentare le abilità degli studenti. Gabel e Sherwood [73] hanno usato quattro strategie diverse per insegnare la soluzione dei problemi relativi al concetto di mole, leggi dei gas, calcolo stechiometrico e problemi sulla molarità.

Phelps [74] ha tentato di colmare il gap tra comprensione concettuale e risoluzione algoritmica dei problemi, cambiando il metodo di insegnamento dei corsi di chimica generale con studenti di diverse facoltà. Gli studenti del corso di scienze si sono dimostrati più insicuri perché questo approccio non era consistente con ciò che si aspettavano in un corso di chimica. Secondo l'esperienza precedente, gli studenti credevano che i problemi chimici dovevano avere una risposta giusta e loro dovevano impararla. Aggiustate le aspettative, molti studenti hanno apprezzato il tempo speso a sviluppare i concetti.

I metodi attivi di apprendimento utilizzati in un ambiente di forte motivazione, oltre a facilitare una maggiore comprensione concettuale, aiutano gli studenti a sviluppare la fiducia nelle proprie capacità; molti studenti si interessano allo studio della chimica e una parte di essi sono in grado di trovare soluzioni creative ai problemi [75].

Nell'insieme le evidenze nei lavori discussi suggeriscono che, in un certo contesto, gli studenti possono sviluppare strategie nella risoluzione dei problemi; tuttavia una parte di questi benefici potrebbero derivare dalla confidenza che essi guadagnano dall'applicazione di appropriati metodi e algoritmi. Non è ancora certo se sia possibile insegnare la soluzione di problemi aperti. Potrebbe però risultare che sia la *pratica* con questi problemi a migliorare la confidenza e ad aumentare la determinazione nel cercare le soluzioni.

Problem Based Learning

Questa frase può essere usata in molte maniere. Alcuni pensano all'apprendimento basato sui problemi come ad una discussione di gruppo sui problemi, come in un gruppo tutoriale. Altri lo hanno descritto come esercizi basati su problemi impegnativi che hanno estensivamente coinvolto il lavoro di gruppo nel soppesare le evidenze e prendere decisioni [76].

Più appropriatamente la frase è usata per descrivere corsi completi, dove il metodo di apprendimento viene interamente costruito intorno a scenari basati sui problemi [77]. Gruppi di studenti con l'aiuto di un facilitatore lavorano su un problema per diversi giorni. Il carico di lavoro viene suddiviso e differenti studenti devono ricercare informazioni utili e condividerle con il resto del gruppo e poi insieme lavorare alla soluzione del problema. Questo tipo di istruzione viene usato soprattutto in medicina; ci sono evidenze che produce un migliore insieme di risultati in termini di apprendimento. La sua rilevanza per la preparazione alla professione medica che in molti casi è un complesso lavoro di gruppo è ovvia [78, 79].

Un tentativo di sintesi

Anche all'interno di una disciplina come la chimica, ci sono differenti tipi di problemi e differenti contesti per la loro soluzione. L'abilità problem solving non è perciò una singola abilità monolitica ed è difficile stabilire un insieme di "regole" da applicare in tutte le situazioni.

L'analisi di Johnstone suggerisce la classificazione dei problemi in otto differenti tipi. Gli studenti risolvono i problemi di tipo 1 molto spesso applicando algoritmi, che possono consistere nell'uso di una relazione matematica, di una procedura memorizzata e nel richiamo di informazioni. L'approccio è molto diverso se comparato con problemi aperti, dove lo studente deve cercare nuove idee o tentare di adattarle valutando le conseguenze, nella ricerca della possibile soluzione.

I problemi possono essere affrontati singolarmente o in gruppo. Il lavoro di gruppo è più vicino alle procedure della vita e può offrire dei vantaggi nell'apprendimento; per i fini della valutazione i problemi individuali sono molto usati. I maggiori risultati della ricerca educativa sono:

1. Il valore delle procedure e degli algoritmi

Benché procedure e algoritmi abbiano importanza nella risoluzione dei problemi, il loro ruolo è limitato quando si affrontano problemi aperti. Inoltre, l'uso appropriato di

procedure e algoritmi non garantisce la comprensione concettuale e perciò la capacità di adattare la conoscenza in nuove situazioni.

2. Il ruolo della memoria a lungo termine

Ciò che è conosciuto e come la conoscenza è stata acquisita e memorizzata influenza il nuovo apprendimento. Quando affrontiamo nuovi problemi siamo essenzialmente nello stesso processo come nell'apprendimento. Ciò che si conosce influenza la maniera di analizzare le nuove informazioni; le informazioni memorizzate possono essere state apprese in un certo contesto e difficilmente si è in grado di adattare ad un altro.

Perciò per risolvere problemi è necessario disporre della conoscenza adatta, però elaborata e appresa in modo significativo; sono i collegamenti tra le varie "isole" di conoscenza che sono critici nella soluzione dei problemi. I collegamenti tra i concetti devono essere presenti e accessibili.

3. Importanza della memoria di lavoro

La memoria di lavoro riceve le informazioni in input come pure riceve informazioni dalla memoria a lungo termine e la sua capacità è limitata e fissa. Oltre a ciò, una parte dello spazio della memoria di lavoro serve per elaborare le informazioni: è facile perciò che si arrivi al sovraccarico della memoria.

L'esperto dispone di molte strategie e procedure automatiche che gli permettono di diminuire il carico della memoria di lavoro (processi di chunking); invece lo studente non dispone di queste strategie [34]. La disponibilità di strategie adatte è uno dei fattori chiave che determina il successo nel problem solving.

4. Confidenza, esperienza, motivazione

La confidenza nelle proprie capacità e nel compito da risolvere è un fattore importante; per risolvere un problema è necessario che almeno si faccia qualche tentativo nella giusta direzione. Per questo, chi risolve il problema deve credere in una qualche possibilità di successo.

L'esperienza, in particolare il successo nelle esperienze passate costruisce la confidenza; il fallimento invece la riduce. Esperienze positive aumentano la motivazione e una forte motivazione aumenta l'impegno della persona a voler risolvere il problema. Secondo Marvin Levine l'impegno profondo (intimate engagement) è il requisito più importante per riuscire nel problem solving [80].

5. Alcuni fattori psicologici

I caratteri tra le persone variano moltissimo e alcuni fattori psicologici possono essere importanti nel problem solving. Ad esempio il grado di dipendenza dal campo, la prevalenza della convergenza o della divergenza, l'abilità nel ragionamento logico e la capacità a sviluppare rappresentazioni corrette (sia mentali che fisiche) possono essere alcuni dei fattori che fanno la differenza nella capacità di risolvere problemi.

Dalla letteratura risulta che l'indipendenza dal campo è un fattore importante mentre l'abilità a sviluppare

modelli appropriati è fondamentale per poter sperare nel successo. È stato trovato che l'essere divergenti e avere la capacità di vedere soluzioni creative (lateral thinking) sia un vantaggio.

Tutto questo riconduce alla domanda ancora priva di risposta: queste caratteristiche possono essere sviluppate oppure sono un bagaglio che alcuni ricevono dalla nascita? facciamo in modo che col nostro insegnamento possiamo dimostrare che in molti casi l'abilità può essere sviluppata.

Bibliografia

- [1] "Whenever there is a gap between where you are now and where you want to be, and you don't know how to find a way to cross the gap, you have a problem.", J. R. Hayes, *The complete problem solver*, 2nd Ed., Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1989, p. xii.
- [2] "Status as a problem is not an innate characteristic of a question, it is a subtle interaction between the question and the individual trying to answer the question.", G. M. Bodner, *The Role of Algorithms in Teaching Problem Solving*, *J. Chem. Educ.*, 1987, **64**, 513-514.
- [3] G. Chittleborough, Creative problem-solving in chemistry - approaching competence in the teaching of this significant competency, in C. L. Fogliani (Ed.), *Australian Chemistry Resource Book*, 1995, **14**, 59-77.
- [4] M. J. Frazer, Solving chemical problems, *Chem. Soc. Rev.*, 1982, **11**, 171-190.
- [5] H. Kaney, *Problem solving: a cognitive approach*, Open University Press: Milton Keynes, 1986, p. 20-21.
- [6] J. A. Glover, R. R. Ronning, R. H. Bruning, *Cognitive psychology for teachers*, Macmillan: New York, 1990.
- [7] G. H. Wheatley, *MEPS Technical Report*, Mathematics and Science Centre, Purdue University, 1984. (citato da U. Zoller, The fostering of question-asking capability, *J. Chem. Educ.*, 1987, **64**, 510-512.).
- [8] "Problem-solving is a process by which the learner discovers a combination of previously learned rules that he can apply to achieve a solution for a new situation.", C. Holroyd, What is a problem? What is problem solving?, In A. H. Johnstone, (Ed.), *Problem solving. Is there a problem?*, The Royal Society of Chemistry: St. Andrews, 1985, p. 5.
- [9] A. D. Ashmore, M. J. Frazer, R. J. Cassey, Problem-solving and problem-solving networks in chemistry, *J. Chem. Educ.*, 1979, **56**, 377-379.
- [10] J. G. Greeno, Natures of problem solving abilities. In W. K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes (Vol 5)*, Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1978.
- [11] J. G. Greeno, H. A. Simon, Problem solving and reasoning. In R. C. Atkinson, R. J. Hernstein, G. Lindzey, R. D. Luce (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology*, Wiley: New York, 1988.
- [12] A. H. Johnstone, Introduction. In C. Wood, R. Sleat (Eds.), *Creative problem solving in chemistry*, The Royal Society of Chemistry: London, 1993, pp. iv-vi.
- [13] D. L. Gabel, D. M. Bunce, Research on problem solving: chemistry. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, Macmillan: New York, 1994, pp. 301-326.
- [14] M. J. Frazer, R. J. Sleat, A study of students' attempt

- pts to solve chemical problems, *Eur. J. Sci. Educ.*, 1984 **6**, 141-152.
- [15] R. E. Waddling, Pictorial problem-solving networks, *J. Chem. Educ.*, 1988, **65**, 260-262.
- [16] G. M. Bodner, A view from chemistry. In *Toward a unified theory of problem solving*, M. U. Smith (Ed.), Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1991, pp. 21-34.
- [17] N. Reid, M-J. Yang, Open-ended problem solving in school chemistry: a preliminary investigation, *Int. J. Sci. Educ.*, 2002, **24**, 1313-1332.
- [18] E. Sumfleth, Knowledge of terms and problem-solving in chemistry, *Int. J. Sci. Educ.*, 1988, **1**, 45-60.
- [19] A. A. M. Shaibu, A study of the relationship between conceptual knowledge and problem-solving proficiency. In H. J. Schmidt (Ed.), *Empirical research in chemistry and physics education*. The international Council of Association for Science Education: Germany, 1992, pp. 163-174.
- [20] J. C. Adigwe, Some correlates of Nigerian students' performances in chemical problem-solving, *Research in Science and Technological Education*, 1993, **11**, 39-48.
- [21] K. W. Lee, N. K. Goh, L. S. Chia, C. Chin, Cognitive variables in problem solving in chemistry: a revisited study, *Sci. Educ.*, 1996, **80**, 691-710.
- [22] A. H. Johnstone, Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, 1991, **7**, 75-83.
- [23] D. Gabel, Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future, *J. Chem. Educ.*, 1999, **76**, 548-554.
- [24] A. H. Johnstone, H. El-Banna, Capacities, demands and processes - a predictive model for science education, *Educ. Chem.*, 1986, **23**, 80-84.
- [25] A. H. Johnstone, H. El-Banna, Understanding learning difficulties - a predictive research model, *Studies in Higher Education*, 1989, **14**, 159-168.
- [26] M. B. Nakhleh, Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? identifying conceptual students in general chemistry, *J. Chem. Educ.*, 1993 **70**, 52-55.
- [27] P. J. Garnett, M. W. Hacking, Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning, *Studies in Science Education*, 1995, **25**, 69-95.
- [28] J. Lythcott, Problem solving and requisite knowledge of chemistry, *J. Chem. Educ.*, 1990, **67**(3), 248-252.
- [29] S. C. Nurrenbern, M. Pickering, Concept learning versus problem solving: is there a difference? *J. Chem. Educ.*, 1987, **64**, 508-510.
- [30] B. A. Sawrey, Concept learning versus problem solving: revisited, *J. Chem. Educ.*, 1990, **67**, 253-254.
- [31] M. Pickering, Further studies on concept learning versus problem solving, *J. Chem. Educ.*, 1990, **67**, 254-255.
- [32] M. B. Nakhleh, R. C. Mitchell, Concept learning versus problem solving: there is a difference, *J. Chem. Educ.*, 1993, **70**, 190-192.
- [33] D. V. Frank, C. A. Baker, J. D. Herron, Should students always use algorithms to solve problems? *J. Chem. Educ.*, 1987, **64**, 514-515.
- [34] A. H. Johnstone, Chemistry teaching, science or alchemy?, *J. Chem. Educ.*, 1997, **74**, 262-268.
- [35] G. A. Miller, The magic number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information, *Psychol. Rev.*, 1956, **63**, 81-91.
- [36] D. P. Ausubel, J. D. Novak, H. Hanesian, *Educational psychology: a cognitive view*, 2nd Ed., Holt, Rinehart and Winston: New York, 1978.
- [37] H. A. Witkin, D. R. Goodenough, *Cognitive styles: essence and origins field dependence and field independence*, International University Press: New York, 1981.
- [38] A. H. Johnstone, F. F. Al-Naeme, Room for scientific thought? *Int. J. Sci. Educ.*, 1991, **13**, 187-192.
- [39] E. Danili, N. Reid, Some Strategies to improve performance in school chemistry, based on two cognitive factors, *Research in Science and Technological Education*, 2004 **22**, 203-226.
- [40] E. Danili, N. Reid, Assessment Formats: do they make a difference? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2005, **6**, 204-212.
- [41] R. R. Ronning, D. McCurdy, R. Ballinger, Individual differences: a third component in problem-solving instruction, *J. Res. Sci. Teach.*, 1984, **21**, 71-82.
- [42] S. F. Pirkle, G. L. Pallrand, Knowledge representation about projectile motion in junior high school students, Eric Document reproduction service ED 294739, 1988.
- [43] A. E. Lawson, W. T. Wollman, Cognitive level, cognitive style and value judgment, *Sci. Educ.*, 1977, **61**, 397-407.
- [44] F. H. Squires, An analysis of sex differences and cognitive styles on science problem solving situations, (The Ohio State University), Dissertation Abstracts International, 1977, **38**(5), 2688 A.
- [45] S. L. Helgeson, Research on problem solving: middle school. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, Macmillan: New York, 1994, pp. 248-268.
- [46] M. Niaz, The role of cognitive factors in the teaching of science, *Research in Science and Technological Education*, 1987, **5**, 7-16.
- [47] M. Niaz, The information-processing demand of chemistry problems and its relation to Pascual-Leone's functional M-capacity, *Int. J. Sci. Educ.*, 1988, **10**, 231-238.
- [48] M. Niaz, Manipulation of M-demand of chemistry problems and its effect on student performance: a neo-Piagetian study, *J. Res. Sci. Teach.*, 1988, **2**, 643-657.
- [49] M. Niaz, Student performance in water pouring and balance beam tasks: effect of manipulation of perceptual field factor, *Research in Science and Technological Education*, 1988, **6**, 39-50.
- [50] M. Niaz, W. R. Robinson, Teaching algorithmic problem solving or conceptual understanding: role of developmental level, mental capacity, and cognitive style, *Journal of Science Education and Technology*, 1993, **2**, 407-416.
- [51] E. Danili, New teaching materials for secondary school chemistry: A study of psychological factors affecting pupil performance, *MSc Thesis*, University of Glasgow, 2001.
- [52] K. W. Lee, Cognitive variables in problem solving in chemistry, *Research in Science Education*, 1985, **15**, 43- 50.

Il problem solving in chimica

- [53] R. F. Kempa, C. E. Nicholls, Problem-solving ability and cognitive structure-an exploratory investigation, *Eur. J. Sci. Educ.*, 1983, **5**, 171-184.
- [54] T. J. Greenbowe, An Investigation of variables involved in chemistry problem solving, *PhD Thesis*, Purdue University, 1983.
- [55] G. M. Bodner, D. S. Domin, Mental models: the role of representations in problem solving in chemistry, *U. Chem. Ed.*, 2000, **4**, 22-28.
- [56] 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, NJ, 1990, p. 34.
- [57] D. W. Johnson, R. T. Johnson, *Learning together and alone: cooperation, competition and individualization*, Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, 1975.
- [58] R. Slavin, *Cooperative learning, theory, research, and practice*, Allyn and Bacon: Boston, 1995.
- [59] J. B. Tingle, R. Good, Effects of cooperative grouping on stoichiometric problem solving in high school chemistry, *J. Res. Sci. Teach.*, 1990, **27**, 671-683.
- [60] P. A. Basili, J. P. Sanford, Conceptual change strategies and cooperative group work in chemistry, *J. Res. Sci. Teach.*, 1991, **28**, 293-304.
- [61] R. F. Kempa, A. Ayob, Learning interactions in group work in science, *Int. J. Sci. Educ.*, 1991, **13**, 341-354.
- [62] Z. Qin, D. W. Johnson, R. T. Johnson, Cooperative versus competitive efforts and problem solving, *Review of Educational Research*, 1995, **65**, 129-143.
- [63] R. M. Felder, Active-inductive-cooperative learning: an instructional model for chemistry?, *J. Chem. Educ.*, 1996, **73**, 832-836.
- [64] N. Reid, Simulation techniques in secondary education: affective outcomes, *Simulation and Games*, 1980, **11**, 107-120.
- [65] A. H. Johnstone, N. Reid, Interactive teaching materials in science, *South Australia Science Teachers Journal*, 1981, **812**, 4-15.
- [66] H. Clarkeburn, R. Downie, N. Reid, Teaching biology students transferable skills, *J. Biol. Educ.*, 2000, **34**, 133-137.
- [67] D. Lennon, N. Reid, J. Winfield, An undergraduate teaching initiative to demonstrate the complexity and range of issues typically encountered in modern industrial chemistry, *Green Chemistry*, 2002, **4**, 181-187.
- [68] D. Gabel, D. Bunce, Enhancing chemistry problem-solving achievement using problem categorization, *J. Res. Sci. Teach.*, 1991, **28**, 505-521.
- [69] R. J. Osborne, M. M. Cosgrove, Children's conceptions of the change of state of water, *J. Res. Sci. Teach.*, 1983, **20**, 825-838.
- [70] G. M. Bodner, I have found you an argument: the conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students, *J. Chem. Educ.*, 1991, **68**, 385-388.
- [71] R. M. Felder, R. Brent, How to teach (almost) anybody (almost) anything, *Chem. Engr. Education*, 2006, **40**, 173-174.
- [72] C. Gayford, A contribution to a methodology for teaching and assessment of group problem solving in biology among 15-year old pupils, *J. Biol. Educ.*, 1989, **23**, 193-198.
- [73] D. L. Gabel, R. D. Sherwood, Facilitating problem solving in high school chemistry, *J. Res. Sci. Teach.*, 1983, **20**, 163-177.
- [74] A. J. Phelps, Teaching to enhance problem solving: its more than the numbers, *J. Chem. Educ.*, 1996, **73**, 301-304.
- [75] L. Cardellini, Fostering creative problem solving in chemistry through group work, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2006, **7**, 131-140.
- [76] S. T. Belt, E. H. Evans, T. McCreedy, T. L. Overton, S. Summerfield, A problem based learning approach to analytical and applied chemistry, *U. Chem. Ed.*, 2002, **6**, 65-72.
- [77] D. R. Woods, *Problem-based learning: how to gain the most from PBL*, Waterdown: ON, Canada, 1994.
- [78] G. J. Groen, V. L. Patel, A view from medicine. In *Toward a unified theory of problem solving*, M. U. Smith (Ed.), Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1991, pp. 35-44.
- [79] A. M. Mackenzie, A. H. Johnstone, R. I. F. Brown, Learning from problem Based Learning, *U. Chem. Ed.*, 2003, **7**, 13-26.
- [80] "The engager, ... has had a history of success with similar problems; the dismitter has had a history of failure.", M. Levine, *Effective problem solving*, 2nd Ed., Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, 1994, p. 4.

Gli orbitali nell'insegnamento e nella ricerca

Giuseppe Del Re

Università Federico II – Napoli
theomail@tiscali.it

In un recente numero di CnS (1) Soldà e Niccoli hanno ripreso in considerazione il modello a gusci dell'atomo, basato sulle energie di ionizzazione, proposto da P. Mirone (2) come ausilio didattico per presentare l'atomo e il sistema periodico senza le complicazioni e le difficoltà concettuali proprie del «modello orbitale».

Si può certamente concordare con l'idea di Mirone, ma rimane il problema, come del resto sottolinea uno degli autori, che il modello atomico a gusci è per sua natura parziale. In effetti, se si esce dal sistema periodico e si guarda alla relazione fra il legame chimico e la natura degli atomi che lo formano, forse si deve riconoscere che non è facile mettere da parte il modello degli orbitali, non solo a livello didattico ma a livello di strumenti concettuali della ricerca teorica in chimica.

Nell'ambito squisitamente didattico, occorre anzitutto tener presente quella che si potrebbe chiamare la questione ontologica. Se prima ammettiamo che l'atomo non è una finzione della nostra mente e che non solo esiste, ma è costituito da un nucleo e alcuni elettroni che in qualche mondo sono trattenuti presso il nucleo dall'attrazione elettrostatica, e poi riduciamo la descrizione dell'atomo a un modello molto più semplice, dobbiamo prepararci a rispondere alla domanda: ma insomma, come è fatto davvero l'atomo? Non possiamo certo rispondere che nessuno lo sa o che si tratta di cose molto difficili. Dobbiamo rispondere con delle analogie, che poi finiscono inevitabilmente nel paragone con il sistema solare. I fisici quantistici di oggi, molto inclini a ridurre la fisica teorica a fisica matematica, storcono il naso di fronte a cose del genere, ma dovrebbero riconoscere che Rutherford determinò la struttura dell'atomo proprio avendo in mente la scelta fra due analogie: la goccia di un fluido in cui la carica negativa e quella positiva erano in qualche modo fuse insieme e una specie di sistema solare in cui gli elettroni fungevano da pianeti, mentre la carica positiva, insieme alla massa, era concentrata nel centro del sistema, il «nucleo». Molto più tardi, la cosiddetta approssimazione di Hartree-Fock, che assegna stati propri (gli orbitali) a ciascuno degli elettroni di un atomo, fu salutata come un'importante analogia con la fisica classica proprio da Paul Dirac, che pure aveva sviluppato per la meccanica quantistica un formalismo matematico e concettuale molto raffinato e lontano da quello della fisica classica. Mentre negli atomi e molecole a molti elettroni ci sono da fare molte considerazioni

speciali, il concetto di orbitale (il cui nome viene da «funzione d'onda orbitale») descrive praticamente la realtà nel caso dell'atomo d'idrogeno e della molecola-ione di idrogeno H_2^+ . La prima obiezione che si fa, anche in questo caso dal punto di vista didattico, è che un orbitale non è un'orbita come quella di un pianeta, perché alla scala atomica vale il principio di indeterminazione di Heisenberg e non si può parlare della traiettoria di un elettrone. Dunque, si dice, l'analogia fra un atomo e un sistema planetario è grossolana se non fuorviante.

Ci sono due cose da dire in proposito. Una è che la fisica non può dire esattamente come si muove l'elettrone, ma ciò non toglie che si possa dare una certa probabilità di trovarlo in un luogo anziché in un altro, e in questo senso gli si può attribuire una localizzazione approssimativa a una certa distanza dal nucleo e con una certa dipendenza dalla direzione. L'altra è che le «orbite probabili» che si arrivano a definire in questo modo non sono certo le ellissi delle leggi di Keplero (3).

A questo punto, come tutti sanno, il docente della scuola secondaria si può trovare in gravi difficoltà, e il ricercatore può dichiarare, come ho sentito da un giovane professore canadese qualche anno fa, *I don't believe in orbitals*, «non credo negli orbitali». L'alternativa ben nota è quella di affidarsi all'analogia con le orbite, dopo aver insistito sul fatto che si tratta di un'analogia molto grossolana. Ma ne vale la pena?

La risposta, a parere di chi scrive, è senza riserve «sì», se si sta insegnando o facendo della teoria in chimica, cioè con la necessità di estendere il discorso dagli atomi alle molecole.

Secondo una delle due linee di attacco al problema del legame chimico da parte dei pionieri della meccanica quantistica, il modello di un legame può esser dato dalla molecola-ione d'idrogeno, supponendo che anche se il legame è a due elettroni ciascun elettrone contribuisca in ugual misura a tenere insieme i due nuclei proprio come fa il singolo elettrone nella molecola H_2^+ . In altre parole, per trattare il legame A—B guardiamo ai due atomi A e B come se fossero due ioni A^+ e B^+ simili a un protone, e che intorno a uno di essi giri un solo elettrone. Quando i due si avvicinano l'elettrone finisce per «girare» intorno a tutti e due, e dà sostanzialmente un'attrazione tra A e B dello stesso genere di quello che l'elettrone dà nella molecola H_2^+ . Se vogliamo poi pensare a due elettroni,

supponiamo che essi percorrano semplicemente la stessa «orbita» molecolare, dando ciascuno un contributo doppio all'attrazione fra A e B, e si può accennare al principio di Pauli. Abbiamo descritto così un legame a due elettroni.

A rigor di termini, come sappiamo, non avremmo dovuto parlare di orbite, e in effetti per evitare che gli allievi pensino a orbite vere e proprie un artificio efficace è di dire «occupare un orbitale» anziché «percorrere un'orbita»; ma non si deve dimenticare che anche i ricercatori maturi hanno bisogno di appoggiare i loro ragionamenti a un'analogia tratta dall'esperienza di tutti i giorni, e quindi se poi gli allievi in realtà s'immaginano che l'orbitale sia una specie di orbita diffusa non succede proprio niente di grave, purché sappiano che si tratta di uno strumento di pensiero che non si deve prendere alla lettera. Per chi volesse un parere autorevole in materia, basta ricordare che nel 1892 Heinrich Hertz, scopritore a livello sperimentale delle onde elettromagnetiche, scriveva:

Se desideriamo dare più colore alla teoria, non c'è nulla che ci impedisca di integrarla e di aiutare la nostra immaginazione con rappresentazioni concrete delle varie concezioni relative alla natura della polarizzazione elettrica, della corrente elettrica, ecc. (4).

Anche il modello di legame semplice costituito da due pseudoprotoni con due elettroni che occupano uno stesso orbitale comune è una semplificazione della realtà talmente audace che oggi sembra quasi impossibile accettarlo. Ma le semplificazioni fatte non spaventavano affatto i fisici e i chimici degli anni intorno al 1930, i quali erano pronti a qualunque schematizzazione pur di spiegare in termini di meccanica quantistica i fatti atomici e molecolari noti. E si trattava di gente come Pauling, Hund, Slater e altri, che la meccanica quantistica la conoscevano benissimo e l'applicavano. Pertanto, non si vede perché noi non dovremmo servirci di quelle descrizioni semplificate.

Facendo poi appello ai ricordi universitari dei docenti, forse può essere interessante ricordare in che cosa consisteva il ragionamento che consentiva una formulazione matematica dell'intero discorso.

Supponiamo che un elettrone si muova intorno all'atomo A, che si trovi cioè, come si suol dire, in uno stato stazionario legato proprio del campo dello ione A^+ , ossia in uno stato di quelli che abbiamo chiamato orbitali. Supponiamo poi che l'atomo B, privato di un elettrone, si avvicini all'atomo A. Il campo generato da B produrrà una «perturbazione» dell'orbitale dell'atomo A. Una tale perturbazione si può sempre interpretare come se all'elettrone dato si presentasse la possibilità di percorrere un'«orbita» che circola in qualche modo sia intorno ad A che intorno a B; ecco dunque che il legame monoelettronico AB si può descrivere come il formarsi di un orbitale molecolare che consiste in una combinazione dell'orbitale su cui l'elettrone si troverebbe se A fosse isolato e il corrispondente orbitale di B. Insomma, quando i due atomi vengono abbastanza vicini, l'elettrone che ci interessa potrebbe stare o sull'uno o sull'altro, e per conseguenza adotta un nuovo stato legato che combina le

proprietà dei due orbitali propriamente atomici.

Questo modo di guardare le cose è tutt'altro che rigoroso, e non è nemmeno sostenuto da una teoria ben precisa. La teoria a cui ci si può appellare è quella delle perturbazioni di due stati degeneri. Si può cioè supporre che i due stati elettronici su A e su B siano almeno approssimativamente della stessa energia e perciò consentano l'appello alla teoria delle perturbazioni.

L'approccio al legame chimico che abbiamo così descritto è un esempio emblematico di una serie di semplificazioni radicali che non si potrebbero mai giustificare in forma rigorosa. Come si può pensare che l'atomo di cloro e l'atomo d'idrogeno, quando sono abbastanza vicini, presentino orbitali della stessa energia? Il fatto è che in questi casi il coraggio d'innovazione consiste proprio nel riferirsi a un caso quantitativamente molto discutibile e di applicarlo senza esitare, per vedere se comunque conduce a qualcosa di utile. Nel caso del modello che abbiamo descritto, che poi è il cosiddetto modello di Hund, l'audacia del suo creatore fu premiata dal successo più pieno, successo che venne confermato anche dai calcoli ab initio di cui oggi si parla tanto (5). Senza entrare nei particolari diremo solo che effettivamente, quando si va a studiare con quei metodi computazionali una qualsiasi molecola, si trova che con buona approssimazione esistono stati elettronici che sono combinazioni di orbitali di due atomi e corrispondono ai legami.

Nel fervore di attività suscitato dai primi lavori teorici sulla molecola di idrogeno, era emerso anche un altro aspetto degli orbitali, e cioè l'ibridazione. Anche qui fu un gioco di audaci semplificazioni, dovute in parte a Pauling e in parte a Slater e in parte a Hund stesso; il ragionamento completo era il seguente: supponiamo che nella formazione di un legame A—B contino solo due orbitali atomici che, come quelli dei due atomi di idrogeno nella molecola di H_2 , si possono trattare come se fossero «degeneri», cioè della stessa energia. Allora, poiché gli atomi diversi dall'idrogeno hanno almeno una quaterna di orbitali degeneri ciascuno, è lecito supporre che all'avvicinarsi di A e B dagli orbitali della quaterna emerga un unico orbitale ibrido di A, dotato di proprietà direzionali, che con l'analogo orbitale ibrido di B costituisce la coppia di orbitali che descrive il legame A—B.

Abbiamo ricordato tutte queste cose non con l'intenzione di spiegare considerazioni che sono spiegate molto meglio nei testi classici di chimica teorica, come "La Valenza" di Coulson, nella sua edizione originale, ma per far vedere quale potere euristico abbia avuto il concetto di orbitale malgrado tutte le semplificazioni fatte nell'utilizzarlo a livello di struttura molecolare.

Per concludere, citiamo alcuni risultati su una molecola abbastanza strana ma importante nel mondo della sintesi organica, il cloruro di nitrosile ClNO. Si possono ricavare gli orbitali più fortemente impegnati nei legami assiali (σ) Cl—N e N—O operando sui risultati dei calcoli *ab initio* senza alcuna approssimazione, ma estraendo gli opportuni ibridi. Si trova allora che il ricoprimento tra l'ibrido del cloro e l'ibrido dell'azoto nel legame Cl—N vale 0.35, mentre il ricoprimento tra l'ibrido dell'azoto e l'ibrido del-

l'ossigeno nel legame N—O vale 0.75; mentre i ricoprimenti di questi orbitali con tutti gli altri orbitali sono molto più piccoli. Poiché, come è noto, i ricoprimenti misurano anche l'intensità della «forza» del corrispondente legame, si ha dunque un significativo accordo con l'ipotesi di Hund secondo cui, appunto, contano principalmente «gli ibridi di valenza».

Concludiamo con due annotazioni.

Come abbiamo già fatto notare, la descrizione degli elettroni di un atomo in termini di stati monoelettronici (appunto gli orbitali) è approssimata. Questo ha indotto molti ricercatori forse non molto familiari con i meccanismi della conoscenza a dichiarare che parlare degli orbitali come se esistessero è un errore. Dal punto di vista filosofico la stessa osservazione si potrebbe fare su enti come le orbite planetarie, giacché queste ultime sono anch'esse delle descrizioni approssimate del moto dei pianeti. In realtà, nel caso degli orbitali c'è qualcosa di più fisico nel senso che agli orbitali è associata una distribuzione di probabilità di un elettrone, distribuzione che viene interpretata come una nuvola di carica. Su queste basi qualcuno sconsiglia addirittura di parlare di orbitali, in quanto, secondo lui, sarebbero enti fittizi e per di più non forniscono una descrizione quantitativamente rigorosa della realtà atomica (6). Come ha fatto notare G. Villani (7), in realtà essi sono reali nei limiti in cui il modello dell'atomo o della molecola costruito con gli orbitali è una rappresentazione corretta, anche se non fedele, della distribuzione elettronica dell'atomo o della molecola data.

A questa considerazione si ricollega il discorso sulla forma degli orbitali. Tutti conoscono per esempio la rappresentazione degli orbitali p come due sfere tangenti nel nucleo. Si sostiene che gli orbitali in realtà «non sono fatti così». Quest'obiezione è corretta. Sorge allora la domanda: conviene servirsi di queste descrizioni visive per familiarizzare gli studenti con la relazione tra distribuzione elettronica e proprietà dell'atomo?

Volendo essere pragmatici basta ricordare che il famoso libro di Linus Pauling sulla natura del legame chimico si serve abbondantemente di queste rappresentazioni e l'autore se ne è servito per spiegare molte proprietà strutturali delle molecole, dal metano alle proteine. Che delle pure fantasie abbiano un tale potere euristico sembra abbastanza difficile a spiegare.

Abbiamo detto che è lecito affermare che gli orbitali sono reali nel senso che al sistema elettronico di un atomo si può associare un insieme di orbitali che consentono di dare una descrizione relativamente semplice e sufficientemente accurata dello stato elettronico globale dell'atomo stesso. Ciò premesso, si può addirittura visualizzare la distribuzione elettronica associata a un dato orbitale in modo da rendere immediatamente evidenti le proprietà direzionali della nuvola elettronica

globale, ma occorre capire bene cosa rappresentano le figure con cui tutti siamo familiari.

Si può riassumere la questione facendo notare che ogni orbitale ϕ decresce esponenzialmente all'aumentare della distanza dal nucleo secondo due fattori: uno che dà il valore massimo della densità della nuvola elettronica $|\phi|^2$ associata a ϕ indipendentemente dalla direzione e un altro che invece corrisponde al fattore per cui bisogna moltiplicare il valore medio suddetto per ottenere il valore della densità stessa in ogni data direzione, ferma restando la probabilità massima considerata. Se si volesse visualizzare in modo abbastanza fedele l'andamento dell'orbitale (inteso come densità della nuvola elettronica) si potrebbe considerare una successione di sfere concentriche a distanza R_1, R_2, \dots, R_n . Su ogni sfera si potrebbe indicare con una punteggiatura più o meno fitta il valore di $|\phi|^2$ sulla superficie delimitata da un piccolo cono che ha per asse la direzione data. Uno schema di questo genere consentirebbe senz'altro di rappresentare le proprietà direzionali dell'orbitale dato. Tuttavia è più pratico e di fatto altrettanto valido un disegno in cui non si riporta il valore di $|\phi|^2$ direttamente su una sfera ma piuttosto l'andamento del valore dell'orbitale sulla data sfera al variare della direzione. In altre parole si riporta su ogni raggio che esce dal nucleo il valore dell'orbitale per una stessa distanza dal nucleo. Per esempio, sia r la distanza per cui la parte radiale $f^2(r)$ di un orbitale $2s$ è massima, e sia ϑ l'angolo di rotazione rispetto all'asse z . Allora, nel caso di un orbitale $2p_z$, che ha la forma

$$|\phi|^2 = 3 f^2(r) \cos^2\vartheta, \quad (1)$$

si può scegliere il valore arbitrario $1/3$ per $f^2(r)$ e si può costruire un diagramma polare in cui si riporta su tutti i raggi che escono dal centro il valore di $\cos^2\vartheta$. Si ottiene così la ben nota figura che rappresenta un orbitale $2p$. Si vede che, come si è detto, la figura ottenuta non rappresenta la corrispondente distribuzione elettronica nello spazio, ma il suo valore ad una data distanza dal nucleo al variare della direzione. Peraltro, il fatto che questa figura non è una rappresentazione di un orbitale non significa affatto che un orbitale non sia un aspetto della realtà nel senso sopra specificato.

Il discorso che abbiamo fatto si può portare in classe solo con opportuni adattamenti alla ricettività degli allievi. Ci sembra però importante aver fatto vedere che concetti come quello di orbitale sono potenti ausili della spiegazione della struttura molecolare a livello di meccanica quantistica, e che escluderli dal discorso didattico solo perché non sono rigorosi può negare agli allievi l'occasione di conoscere uno dei modi in cui si arriva a una scoperta scientifica. Gli orbitali condussero Pauling alla struttura delle proteine; è ben difficile immaginare in che modo dei calcoli rigorosi non ispirati

da un modello euristico come quello di Hund avrebbero potuto consentire le stesse scoperte.

Bibliografia e note

(1) R. Soldà, E. Niccoli, CnS, 2006, **28**, 50.

(2) P. Mirone, CnS 1987, **9**, 12

(3) Com'è noto, si tratta di "nuvole di probabilità" che hanno massimi marcati non su linee ma su superfici. Va notato che le rappresentazioni dei vari orbitali atomici che si trovano su tutti i libri descrivono le probabilità di presenza di un elettrone secondo la direzione *a una stessa*

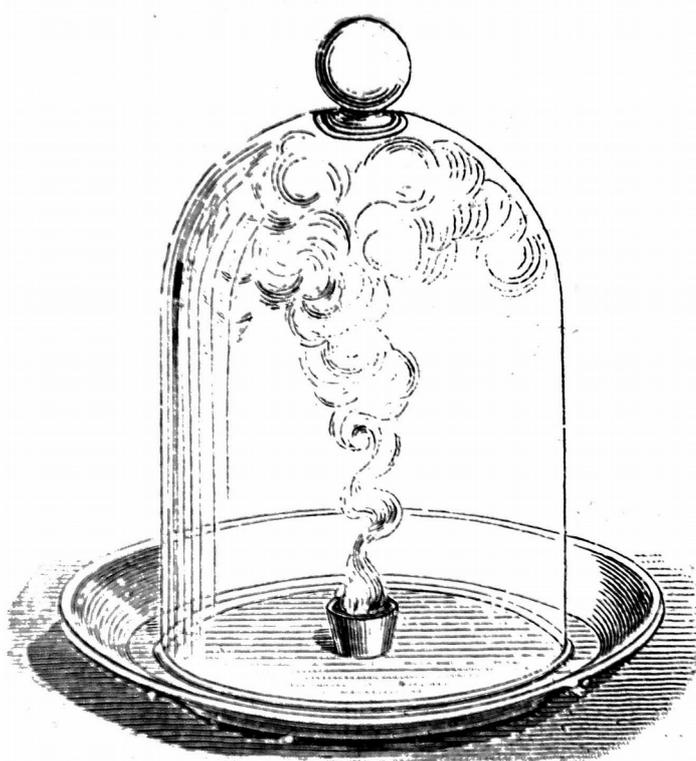
distanza dal nucleo, e non sono dunque rappresentazioni della «nuvola elettronica» nello spazio, ma su una sfera.

(4) Hertz, cit. da Mary B. Hesse in *Forze e Campi* (Milano: Feltrinelli 1975).

(5) G. Del Re, A. Capobianco, Int. J. Quantum Chem., 2006, **106**, 2014.

(6) J. F. Ogilvie, J. Chem. Educ. 1990, **67**, 280.

(7) G. Villani, La Chiave del mondo - CUEN, Napoli 2001



Production de l'anhydride
phosphorique par la combustion
du phosphore.

Un approccio cooperativo all'insegnamento della chimica

1. La struttura dell'intervento didattico

Antonella Andracchio

I.S.I.S. "ARCHIMEDE", S.Giovanni Persiceto (BO) e I.I.S. "G. SCARABELLI - L. GHINI", Imola (BO).
e-mail: antonella.andracchio@libero.it

Paola Ambrogi, Roberto Andreoli, Paola Veronesi

SSIS, sez. di Modena,
Indirizzo Scienze Naturali, Università di Modena-Reggio Emilia, v. Campi 183

Sergio Zappoli

Dipartimento di Chimica Fisica e Inorganica, Università di Bologna, v.le Risorgimento 4

Riassunto

In questo articolo viene presentato nella sua interezza l'intervento didattico svolto durante il tirocinio SISS dalla prof.ssa A. Andracchio, presso la classe VA₆, dell'indirizzo chimico dell'ITIS Belluzzi di Bologna nell'anno scolastico 2004-2005, evidenziando le scelte di carattere didattico e pedagogico che lo hanno caratterizzato e quella che ne rappresenta la valenza principale: la stretta interdipendenza e sinergia tra i contenuti e le metodologie adottate per presentarli.

L'intervento didattico ha avuto come scopo quello di sperimentare un articolato insieme di metodologie didattiche innovative nel contesto di una filosofia didattica di tipo cooperativo. La sperimentazione si è sviluppata all'interno di una unità didattica di "Gascromatografia", che comprendeva principi teorici, aspetti strumentali e applicazioni di laboratorio. Gli strumenti didattici di cui si è fatto uso sono state le mappe concettuali, per la realizzazione della rete concettuale dell'unità didattica ed il consolidamento cognitivo dei principi teorici della cromatografia, il modello R.A.Re.Co., per lo studio della strumentazione gascromatografica e l'apprendimento cooperativo, nelle modalità Role-Playing, per lo studio delle prestazioni gascromatografiche finalizzate all'analisi di distillati in laboratorio, e Jigsaw in classe, per la messa a punto di una metodica analitica per l'analisi degli alcoli nel vino. La sperimentazione ha mostrato che l'integrazione dei diversi approcci di apprendimento attivo ha stimolato l'interesse degli allievi verso gli argomenti disciplinari affrontati e ha avuto delle ricadute positive sui rendimenti scolastici

Abstract

In this paper, the whole didactic act implemented by prof.ssa A. Andracchio in a class of high school seniors

(age 18) at the Technical Institute, ITIS Belluzzi in Bologna during the scholastic year 2004-2005 is presented, highlighting its didactical and pedagogical framework and its main principle: the tight relationship between content and methodologies in teaching practices. The aim of the didactic project, was the experimentation of different innovative didactic methodologies in the frame of a cooperative learning approach. The experimentation was carried out within a didactic unit of "Gaschromatography", which included theoretical principles, instrumental aspects, and lab applications. Several didactic instruments were used in the frame of the project. Conceptual maps were used to design the didactic unit and to achieve a reinforcement of the students knowledge concerning the principles of chromatography. The R.A.Re.Co. model was devoted to the study of gaschromatographic instrumentation. Formal cooperative learning was applied both in Role-Playing mode, in a lab exercitation devoted to the study of gaschromatograph performance and oriented to the optimisation of distillate analysis, and in Jigsaw mode, in a class work aimed to the set-up of a analytical method for the determination of alcohols in wine. The experimentation has shown that the integration of different active learning approaches has stimulated the interest of the students towards the arguments dealt and has had positive effects on the scholastic performance.

1. Introduzione

Come è noto, l'apprendimento è un processo di costruzione attiva, innescato dall'interesse e dalla motivazione, che deve collegarsi a conoscenze pregresse ed essere capace di generarne nuove in un contesto didattico che attivi, simultaneamente, forme complementari e concatenate di rappresentazioni e costituisca un ambiente

di apprendimento autentico, in cui le possibilità di successo siano grandemente aumentate [1].

E' altresì evidente che nella nostra "idea di scuola" il "successo" a cui mirare non è solo quello sul piano degli apprendimenti, comunque prioritari, ma è anche quello legato alla promozione della crescita complessiva della personalità dello studente e quindi delle sue capacità riflessive, critiche, affettive e relazionali.

La complessità della società attuale, che si manifesta, tra l'altro, nella rapida evoluzione del mercato del lavoro e nella valorizzazione degli specialismi in contesti multidisciplinari, suggerisce la necessità di un'evoluzione della metodologia di insegnamento che, allontanandosi in parte dalla tradizionale lezione frontale, consenta di sviluppare al massimo grado sia l'acquisizione di competenze disciplinari specifiche che di abilità relazionali di interdipendenza. All'interno di un gruppo si realizza una relazione di interdipendenza positiva se si arriva a risolvere un problema con il contributo effettivo di tutti i suoi membri, impegnati, pur con mansioni diverse, a perseguire il medesimo obiettivo [2]: nel mondo del lavoro pubblico o privato, infatti, c'è sempre più bisogno di persone in grado di collaborare con le proprie specifiche competenze per favorire la soluzione di quei problemi complessi che oggi devono essere affrontati.

Questa esigenza si scontra, da un lato, con le difficoltà di introdurre sperimentazioni nei contesti educativi tradizionali, dall'altro con i problemi connessi alla "disaffezione alla scuola" che si manifestano, principalmente, nella scarsa concentrazione e nello scarso interesse per gli aspetti "teorici", spesso ritenuti dagli allievi un inutile orpello alle attività di carattere pratico [3]. Facendo leva sull'interesse al saper fare è forse possibile individuare il punto di forza di un percorso didattico che sia teso al consolidamento delle competenze teoriche, oltre che di quelle procedurali.

Una vasta letteratura individua nelle modalità di apprendimento cooperative un valido strumento per venire incontro a molte delle esigenze sopraindicate. Sintetiche introduzioni al tema si possono trovare nei lavori di Cardellini e Felder [4] e Felder [5]. Esistono poi strumenti e modelli (Mappe concettuali [6], modello R.A.Re.Co.¹ [7]) che, oltre ad adattarsi bene in un contesto cooperativo, garantiscono una certa flessibilità nei confronti degli stili di apprendimento e dotano il docente di importanti strumenti di programmazione e verifica.

2. SSIS e Scuole: una nuova realtà per progetti didattici innovativi

L'esperienza di seguito riportata è stata progettata ed implementata durante le attività di tirocinio, diretto ed indiretto, previste dalla Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario (SSIS) dell'Università di Modena e Reggio Emilia. Il tirocinio, collocato dopo un percorso biennale in cui vengono affiancati "nuovi saperi", di tipo pedagogico e metodologico, alla revisione

dei saperi disciplinari in chiave didattica, si configura come l'occasione, per lo specializzando, di ipotizzare e attuare un progetto educativo nel contesto di reali situazioni di apprendimento, riflettendo, in itinere e al termine, sugli esiti. Si cerca così di creare un circuito dinamico, tra azione e riflessione, che permetta di coniugare saperi e strumenti teorici con l'esperienza concreta, in un'ottica di arricchimento professionale. In questo modo il modello formativo proposto, si configura come un'attività di ricerca-azione che, partendo dalla conoscenza teorica e dal contesto scuola, attraverso la riflessione e il confronto, arriva a promuovere un apprendimento efficace e duraturo.

La sempre più frequente presenza degli specializzandi nelle scuole ha offerto alle istituzioni scolastiche che hanno stipulato accordi con le Università, l'opportunità di aprire le porte delle classi a innovazioni didattiche e metodologiche. I docenti accoglienti, oltre a contribuire in modo determinante alla formazione dei futuri colleghi, hanno così una preziosa opportunità di osservare nuove proposte e riflettere sulla loro validità, attivando quei processi di ricerca e di curiosità alla base della formazione continua che caratterizza la figura di ogni professionista efficace.

3. La metodologia dell'intervento didattico

Le attività del tirocinio, si sono inserite all'interno di un percorso didattico avente per oggetto la *gascromatografia*, per una durata di 25 lezioni. La sperimentazione è stata svolta in una V classe, costituita da 16 alunni, otto maschi e otto femmine. Da una ricognizione preliminare con i docenti era emerso che, fino all'anno precedente, gli studenti si erano mostrati abbastanza motivati all'apprendimento della chimica e, in particolare, ai suoi aspetti operativi e applicativi mentre, dall'inizio del nuovo anno scolastico, avevano cominciato a manifestare un generale e considerevole calo di interesse, con inevitabile ricaduta negativa sul rendimento scolastico. In un contesto di questo tipo la sperimentazione di una strategia di apprendimento di matrice costruttivista, impostata sui principi dell'apprendimento cooperativo, è stata accolta con particolare interesse da parte dei docenti ospitanti.

3.1 Schema dell'intervento didattico

Nella prospettiva didattica proposta sarebbe stato necessario, per ragazzi non abituati a pratiche alternative alla lezione tradizionale, prevedere una fase di training, durante la quale essi potessero prendere confidenza con i nuovi strumenti e le nuove metodologie, al fine di poterne trarre il massimo dei benefici. La stessa organizzazione dei gruppi richiederebbe uno specifico apprendimento della gestione delle dinamiche di gruppo. Nel nostro caso il tempo a disposizione, necessariamente limitato, non avrebbe consentito di sviluppare tale fase nel modo voluto. Abbiamo quindi progettato un percorso che consentisse da un lato, di avvicinare gli allievi con gradualità alle diverse modalità cooperative e, dall'altro, di sperimentare la reattività degli allievi ad approcci innovativi di apprendimento.

1. Come si vedrà meglio più avanti, l'acronimo sta per Rappresentazione, Analisi, Relazione, Comunicazione

La fase preliminare all'intervento didattico ha visto due momenti distinti. Il primo è consistito nella strutturazione preventiva del percorso didattico sui contenuti che si intendevano proporre agli allievi attraverso l'ausilio di una **mappa concettuale (MC)**. Il secondo ha previsto una fase di osservazione della classe, condotta utilizzando una **griglia di osservazione** [8] appositamente

predisposta, allo scopo di trarre informazioni sulle relazioni fra gli allievi e sul loro atteggiamento nei confronti di diversi momenti didattici.

Il primo giorno d'intervento didattico vero e proprio è consistito in un **brainstorming**, seguito da un lavoro a coppie, per la individuazione della **matrice cognitiva** degli allievi sulla cui base, tenendo conto anche dei risul-

Tabella 1. Griglia di osservazione degli allievi. La griglia è stata utilizzata per monitorare i comportamenti degli allievi durante i diversi momenti didattici tradizionali

Indicatori	Cod.	Azioni da osservare	Lezione introduttiva n°	Lezione frontale n°	Laboratorio n°
		Allievi presenti	14	12	13
Partecipazione	P1	prendono appunti	2	6	11
	P2	intervengono ponendo domande di approfondimento	0	1	0
	P3	intervengono ponendo domande di spiegazione	4	2	8
	P4	intervengono per proporre attività	4	0	0
	P5	intervengono per mostrare il prodotto del loro apprendimento	0	0	6
	P6	intervengono per rispondere alle domande poste dal docente	5	3	0
	P7	consultano il libro di testo o altro materiale a disposizione	0	4	10
Relazione	R1	tendono a monopolizzare l'attenzione del docente (presenza di leader)	1	1	1
	R2	creano gruppi evidenti	11	10	10
	R3	ascoltano gli interventi degli altri	6	2	0
Atteggiamento verso il docente	A1	richiedono di uscire durante la lezione	2	3	3
	A2	parlano tra loro di argomenti non attinenti durante l'attività didattica	4	9	2
	A3	assumono frequenti e fastidiosi comportamenti di disturbo	0	3	0

tati della griglia di osservazione, si è proceduto all'elaborazione della **rete concettuale (RC)** specifica per quel contesto classe. Nelle lezioni successive ci si è soffermati, inizialmente, sullo studio della strumentazione gascromatografica, utilizzando il **modello R.A.Re.Co.** e lavorando in modalità cooperativa informale, per avviare i ragazzi allo studio di gruppo. In seguito è stato affrontato l'effetto della variazione dei parametri cromatografici sulle separazioni mediante un'esperienza di laboratorio sull'analisi di distillati, mediante la struttura cooperativa del **role-playing**. Per studiare l'analisi quali-quantitativa, infine, è stata utilizzata

un'altra la struttura cooperativa, il **jigsaw**¹, centrata sull'analisi degli alcoli presenti nel vino.

Al termine di ogni attività, negli ultimi 15 minuti di lezione, è stato verificato l'apprendimento immediato degli allievi somministrando loro brevi questionari. Inoltre durante l'attività di *jigsaw*, sono state monitorate alcune abilità sociali dei ragazzi, di nuovo attraverso lo strumento delle griglie, che sono poi state messe in relazione con i risultati ottenuti nel relativo questionario.

1. Sta per "gioco ad incastro", le sue caratteristiche saranno esaminate in seguito

3.2 Conoscenza della classe

3.2.1 Griglie di osservazione

La fase di osservazione preliminare in aula ha riguardato la valutazione della reazione della classe in tre diversi momenti didattici: una lezione d'introduzione al corso, una lezione frontale e una lezione in laboratorio. A tal fine si è predisposta una griglia di osservazione (Tabella 1) adeguata al monitoraggio del grado di partecipazione (P), della relazione tra gli allievi (R) e dell'atteggiamento verso il docente (A). Dall'analisi della griglia si sono potute trarre alcune indicazioni relative allo stato della classe e compararle con quanto era emerso dal confronto con il docente ospitante e dalla lettura dei verbali di classe. Considerando gli indicatori di partecipazione, si vede emergere una diffusa passività degli studenti nei vari momenti didattici (indicatori P_2 , P_4 , P_6) che si sblocca in parte durante le attività di laboratorio, durante le quali gli allievi si attivano, anche per la necessità di avere conferme immediate sul loro lavoro (indicatori P_3 e P_7). Per quanto riguarda gli indicatori di relazione si può rimarcare: la presenza di una figura dominante (R_1), una netta tendenza alla formazione di piccoli gruppi per affinità di genere e di simpatia (R_2) e l'incapacità di ascoltare gli interventi degli altri compagni durante il lavoro di laboratorio (R_3).

Anche gli indicatori di atteggiamento, confermano il quadro di disattenzione generalizzata durante le lezioni

frontali (A_2 e A_3) e di maggiore interesse durante il laboratorio (A_1).

In sintesi, si può affermare che gli allievi tendono a non gradire molto la lezione tradizionale e a vivere l'attività di laboratorio dando la sensazione di volere concludere la prova nel più breve tempo possibile (R_3), pur sfruttando al massimo tutte le informazioni disponibili (vedi in particolare gli indicatori P_3 e P_5).

3.2.2 Brainstorming e Matrici cognitive

L'attività di brainstorming è stata sviluppata scegliendo come parola chiave il termine "gascromatografia". Una volta conclusa la fase di categorizzazione dei termini emersi (vedi Figura 1), si è svolta una breve discussione, stimolata da domande focali, al termine della quale gli allievi, lavorando a coppie, hanno costruito la propria matrice cognitiva. Dall'analisi di tali matrici è emerso che i ragazzi conoscevano i principi generali della cromatografia, ma che solo alcuni di loro, e in maniera poco articolata, avevano idee definite sulla relazione esistente tra tali principi.

Questa analisi (osservazione della classe e matrici cognitive) ha confermato il fatto che i ragazzi non prestassero particolare interesse verso le metodologie tradizionali, rafforzando la nostra intenzione di progettare una sperimentazione metodologica alternativa al contempo più operativa che tenesse anche maggiormente conto dei diversi stili cognitivi degli studenti.

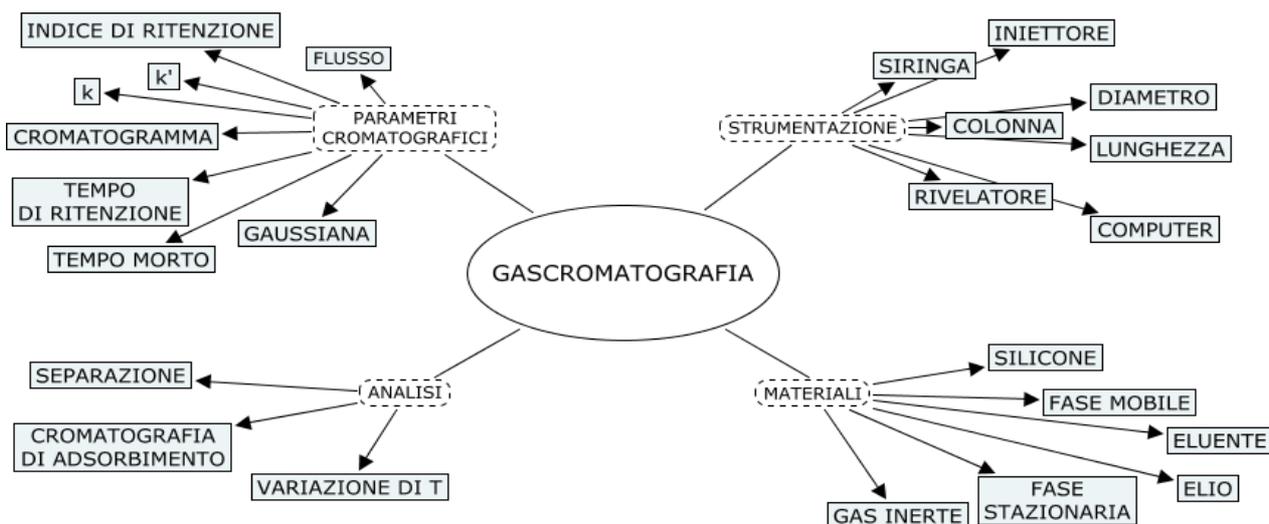


Figura 1. Termini emersi dopo il brainstorming sul termine "Gascromatografia" e loro categorizzazione in quattro aree concettuali: parametri cromatografici, strumentazione, analisi, materiali.

3.2 Rete Concettuale

Uno dei limiti che sovente affligge l'organizzazione modulare della didattica è la realizzazione dei moduli didattici (MD) o delle unità didattiche (UD) a "gabbie", nelle quali il MD si riduce ad una sommatoria di UD e queste ultime sono, sostanzialmente, coincidenti con capitoli del libro di testo. Una progettazione così intesa lede il principio di flessibilità che sta alla base del percorso curricolare a moduli e ne vanifica, in parte, le potenzialità.

Appare, quindi, importante dotarsi di strumenti per la progettazione dei MD e delle UD che siano capaci di aiutare il docente nella stesura del programma, di consentire una verifica dell'efficacia della programmazione e un suo adeguamento, attraverso l'interpretazione delle risposte degli allievi (feedback).

Nella esperienza che è stata condotta si è fatto uso di tre strumenti che si possono rivelare di grande utilità nella progettazione modulare dinamica del corso: le Mappe Concettuali (MC), le Matrici Cognitive (mc) e le Reti Concettuali (RC).

La MC, secondo la definizione che ne dà il suo proponente [6], è uno strumento per organizzare e rappresentare la conoscenza. Tale strumento può essere utilizzato dal docente per costruire lo schema della UD che intende proporre. La mc rappresenta, invece, le conoscenze individuali possedute dagli studenti, che possono essere rilevate attraverso metodiche diverse, tra cui il brain-storming, come nella nostra sperimentazione. La mc si allontana dal formalismo e dal rigore logico che dovrebbe contraddistinguere la MC e ai suoi nodi si possono trovare conoscenze non formalizzate o poco definite. Dal con-fronto tra la MC e ciò che emerge dalle mc, può essere elaborata una RC, che rappresenti l'effettiva progettazione delle attività che si intendono svolgere in classe e che abbia come obiettivo quello di colmare il divario tra la MC e la mc.

3.4 Modello R.A.Re.Co.

Il modello euristico R.A.Re.Co. è uno strumento formativo che consente di organizzare la conoscenza e costruirne di nuova in tutti quei campi d'indagine dove l'oggetto dello studio sia un "sistema produttivo", dalla macchina al corpo umano. Attraverso questo modello, gli allievi possono acquisire un linguaggio specifico, il più possibile rigoroso nell'uso dei termini; la capacità di analisi, di sintesi e di organizzazione di un percorso logico, nella fase di identificazione e descrizione delle relazioni tra le varie componenti che concorrono a definire la funzione dell'oggetto; le capacità linguistico-espositive, esercitate durante le fasi di comunicazione.

Nell'ambito della sperimentazione che è stata fatta le fasi del modello si sono concretizzate nel modo seguente:

1) *Rappresentazione* grafica di un gascromatografo (GC) mediante uno schema a blocchi muto, finalizzata alla percezione dell'insieme dello strumento e delle sue parti;

2) *Analisi* dello strumento, nel corso della quale gli allievi, lavorando in piccoli gruppi, numerano e descrivono le parti mediante strumenti logici gerarchici e costruiscono una tabella a doppia entrata, rispondendo ad alcune domande focali per ciascuna parte dello strumento;

3) *Relazione* tra le parti costituenti il GC, attraverso la costruzione di un diagramma di flusso lineare che consente di visualizzare ed esemplificare il funzionamento dello strumento. A tal fine gli allievi devono individuare le principali fasi operative dello strumento, segmentarle, utilizzando le parti della tabella a doppia entrata precedentemente costruita e, infine, ordinarle in maniera sequenziale, collegando gli elementi che entrano in gioco in ciascuna di esse attraverso vettori che rappresentano la direzione della fase operativa studiata (conoscenza procedurale);

4) *Comunicazione* per mezzo della descrizione del funzionamento del GC da parte degli allievi che traducono la rappresentazione data da ogni vettore del diagramma di flusso lineare in una corrispondente sequenza scritta, così da ottenere una serie di atti linguistici di tipo paratattico (comunicazione analitica) e successivamente, mediante una "pulizia del testo", di tipo ipotattico (comunicazione discorsiva). Le comunicazioni 'personali' così prodotte esprimono, con linguaggio tecnico e rigoroso, il processo di funzionamento dello strumento, nella sequenza gerarchica delle sue procedure. Il modello si è rivelato di notevole utilità come strumento di apprendimento attivo, per la possibilità che offre di studiare sistemi complessi, interrogandosi costantemente sulle relazioni funzionali fra le parti che li costituiscono, con modalità simili a quelle dell'indagine e della comunicazione scientifica.

3.5 Cooperative learning

Una parte importante della sperimentazione si è incentrata sull'applicazione di metodologie di apprendimento cooperativo. In particolare, date le caratteristiche della classe, si è ritenuto importante far ruotare l'organizzazione del lavoro in laboratorio e in aula, attorno agli elementi fondamentali dell'interdipendenza positiva e della responsabilità individuale. A tal fine si è scelto di operare con due modalità: il *role-playing*, in laboratorio e il *jigsaw*, in aula. Per avere una maggiore efficacia dell'intervento didattico si sono inoltre individuati degli argomenti che permettessero un'integrazione dei risultati sperimentali con gli aspetti teorici e quindi stimolassero gli allievi a trarre conclusioni e riflessioni direttamente sfruttabili dalla stessa pratica di laboratorio.

Nella Figura 2 è riportata la mappa concettuale dell'organizzazione delle attività che evidenzia l'integrazione tra il Role Playing e il Jigsaw per concorrere al raggiungimento dell'obiettivo finale, rappresentato dalla definizione di una procedura analitica per la analisi dei vini.

3.5.1 Il role-playing

Nel gioco o interpretazione dei ruoli, gli "attori" simulano comportamenti e atteggiamenti adottati generalmente nella vita reale, con l'obiettivo di acquisire la capacità di impersonare un ruolo e di comprendere in profondità ciò che il ruolo richiede. Alcuni autori hanno proposto l'applicazione del role-playing nell'ambito delle discipline scientifiche; in particolare, Walters [9] ha descritto tale metodologia nella sua applicazione ai laboratori di analisi chimica e chimica analitica strumentale presso un college statunitense. In questa modalità di lavoro gli studenti devono assumere i ruoli assegnati dall'insegnante e comportarsi come pensano che si comporterebbero realmente, nella situazione data, i personaggi che devono rappresentare. Essendo una tecnica che può portare ad un elevato coinvolgimento emotivo e ad una attiva partecipazione, stimolata anche dagli aspetti ludici che vi sono insiti, si è pensato che essa potesse essere sfruttata con profitto, per tentare di

contenere alcune delle lacune relazionali riscontrate nella classe.

L'attività di laboratorio è stata organizzata adattando i ruoli indicati da Walters alle esigenze didattiche di una scuola superiore. L'esperienza ha previsto lo studio dell'effetto della temperatura sulla separazione di alcuni alcoli tipicamente presenti in un distillato; a tal fine la classe è stata suddivisa in gruppi di quattro persone, assegnando ad ogni componente un ruolo specifico (Manager, Tecnico, Analista, Informatico). Ad ogni gruppo è stata assegnata una diversa serie di alcoli, al fine di creare una interdipendenza anche tra i gruppi. Al termine dell'esperienza ciascun gruppo doveva compilare una scheda fornita dal docente, riportando il valore dei parametri cromatografici ricavabili dai tempi di ritenzione dei picchi presenti nella miscela fornita. Successivamente i gruppi dovevano condividere i dati ottenuti, per poter procedere, nella attività *jigsaw*, alla scelta delle migliori condizioni per l'analisi di un distillato.

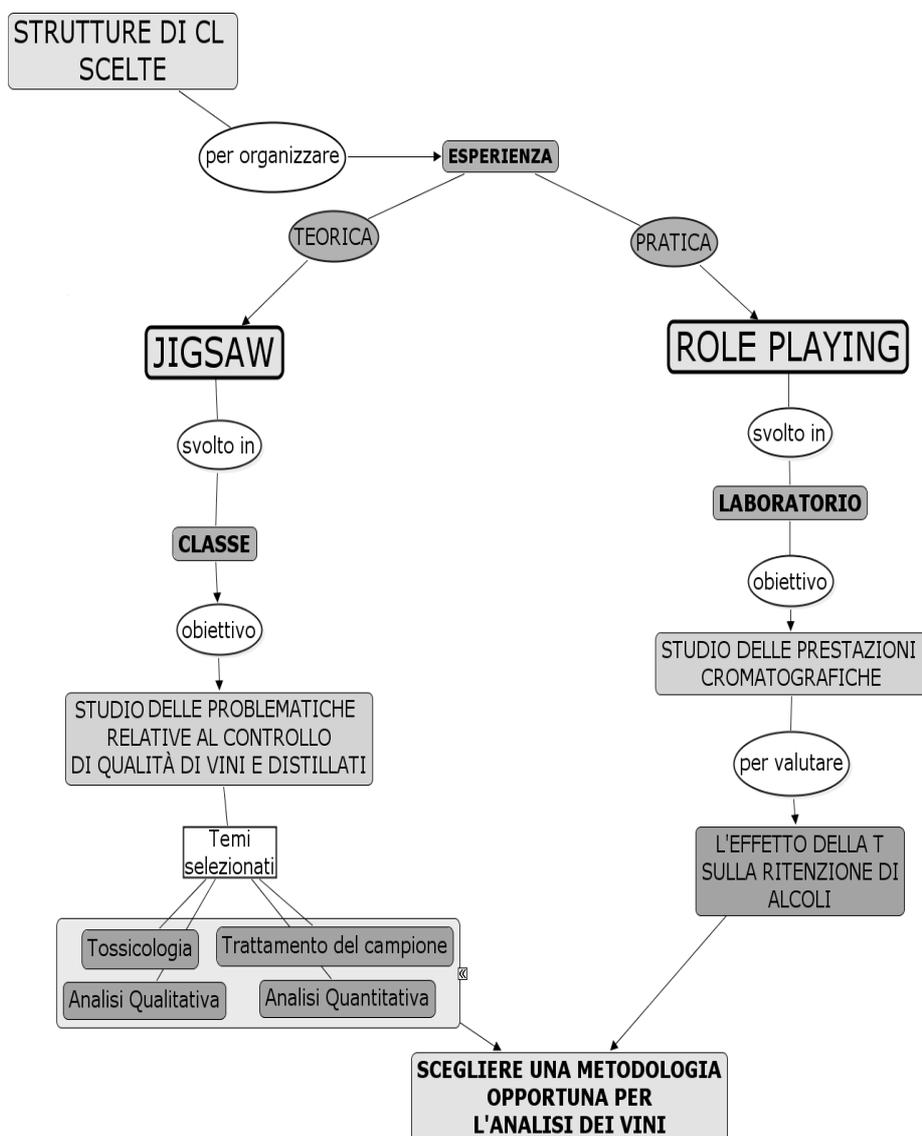


Figura 2. Organizzazione e integrazione dell'attività di cooperative-learning sviluppate all'interno dell'UD di cromatografia

3.5.2 Jigsaw

Il Jigsaw, letteralmente gioco ad incastro, prevede che un argomento venga suddiviso in parti tra loro complementari e assegnate ai diversi componenti di un gruppo definito "casa". In questo modo il contributo di ogni membro del gruppo, depositario solo di una parte di conoscenza, diventa fondamentale per la comprensione globale dell'argomento. I membri dei diversi gruppi "casa" a cui sono stati assegnati gli stessi argomenti-parte, si riuniscono in un gruppo temporaneo detto "gruppo esperti", in cui approfondiscono la comprensione della parte assegnata divenendone, appunto, "esperti", aiutati anche da schede o domande fornite dal docente. Gli "esperti" ritornano quindi nei gruppi "casa" originali, dove ogni studente, attraverso il trasferimento della conoscenza acquisita diventa responsabile dell'apprendimento dei compagni. Terminata questa fase di insegnamento-apprendimento reciproco tutti gli studenti dovrebbero aver acquisito, attraverso l'ascolto e la discussione, le conoscenze necessarie per la comprensione complessiva dell'argomento assegnato. Nello specifico ci si è posti l'obiettivo di scegliere la corretta metodologia analitica per la determinazione quali-quantitativa di alcoli nei distillati del vino, a partire dall'esperienza di laboratorio sommariamente descritta nel paragrafo precedente. Ai gruppi "casa", costituiti da quattro persone, sono stati assegnati materiali relativi ai seguenti temi: 1) campionamento e preparazione del campione; 2) scelta della colonna e metodologia di analisi qualitativa; 3) rivelazione e metodologia di analisi quantitativa; 4) caratteristiche chimico-fisiche degli analiti, tossicologia. Alla descrizione dettagliata dell'attività cooperative sarà dedicato un successivo lavoro.

4. Considerazioni conclusive

In conclusione è stato possibile trarre diversi indicatori positivi anche se alcuni dei timori paventati all'atto di iniziare si sono rivelati reali.

Un primo elemento che possiamo mettere in evidenza, è come lo scarto rispetto al tradizionale contesto didattico, introdotto dalla sperimentazione, abbia prodotto, all'interno della classe, atteggiamenti differenziati e tra loro contrastanti, ma comunque "forti". Si sono potuti osservare sentimenti di diffidenza e, in alcuni casi limitati, di rifiuto verso l'una o l'altra delle attività proposte; ma più spesso entusiasmo e interesse al lavoro degli altri e mai atteggiamenti di apatia o disinteresse, che erano quelli che più preoccupavano il corpo docente e che erano in parte emersi anche durante la fase di osservazione preliminare all'intervento didattico.

Come era forse prevedibile, l'atteggiamento positivo verso queste metodologie è sensibilmente aumentato con l'avanzamento dell'intervento. Più in particolare, abbiamo notato come da una fase di disorientamento e di reticenza a collaborare durante il primo lavoro a coppie,

si è passati alla scrupolosa compilazione delle schede assegnate ai vari personaggi nel Role Playing, al significativo scambio d'informazioni tra gli allievi e alle diverse domande rivolte al docente per meglio comprendere l'articolazione dell'attività. Inoltre, nell'ultima attività effettuata, il Jigsaw, si sono osservati atteggiamenti di entusiasmo, anche in elementi difficili che hanno collaborato e contribuito in maniera decisiva al raggiungimento dell'obiettivo del gruppo di esperti nel quale erano inseriti. La responsabilità individuale verso il gruppo, elemento caratterizzante nell'apprendimento cooperativo è risultata decisiva nell'innescare, nei singoli, la consapevolezza di essere elementi chiave nella risoluzione del problema analitico da affrontare.

L'impressione che gli allievi abbiano a poco a poco interiorizzato il nuovo approccio di apprendimento, trova conferma anche nell'evoluzione delle prestazioni ottenute sul versante cognitivo. Questa affermazione discende, in particolare, dai risultati dei questionari, somministrati negli ultimi quindici minuti di ogni attività svolta. La Figura 3 mostra che passando dalla prima attività all'ultima sono scomparsi i voti più negativi e sono aumentati quelli più positivi; ciò permette di supporre che ci sia stata una evoluzione in crescita anche se le frequenze più alte di valutazioni positive si sono ottenute dopo l'esperienza condotta con la modalità *role-playing* in laboratorio, confermando la predilezione della classe per le attività pratiche.

Una riflessione finale si può trarre dai risultati delle verifiche sommative in cui si chiedeva l'elaborazione di una tabella R.A.Re.Co. su uno dei componenti di un GC e il riempimento di una mappa concettuale muta, utilizzando una serie di concetti e parole di collegamento proposte dal docente. Nella Figura 4 sono stati messi in relazione i punteggi ottenuti dagli allievi nelle due prove: si osserva che esiste un nucleo nutrito di allievi che hanno espresso un buon risultato in entrambe le prove, tre allievi che hanno avuto delle evidenti difficoltà ad affrontare gli argomenti dell'UD e infine due allievi che hanno svolto con un esito molto buono la prova della R.A.Re.Co., ma si sono trovati in difficoltà ad affrontare quella relativa alla mappa concettuale. Due distinti approcci di insegnamento, quindi, possono generare risposte di apprendimento decisamente contrastanti, sottolineando come una articolazione differenziata della proposta didattica consenta l'emersione di attitudini di apprendimento e stili cognitivi differenziati, sui quali il docente può fare leva per sviluppare al meglio le potenzialità degli allievi.

5. Ringraziamenti

La prof.ssa Antonella Andracchio, desidera ringraziare gli studenti della classe VA₆ a.s. 2004/2005 e le prof.sse Maria Letizia Vannini e Stefania Nesi per la fattiva collaborazione e la piena fiducia ricevuta durante tutto il periodo del tirocinio.

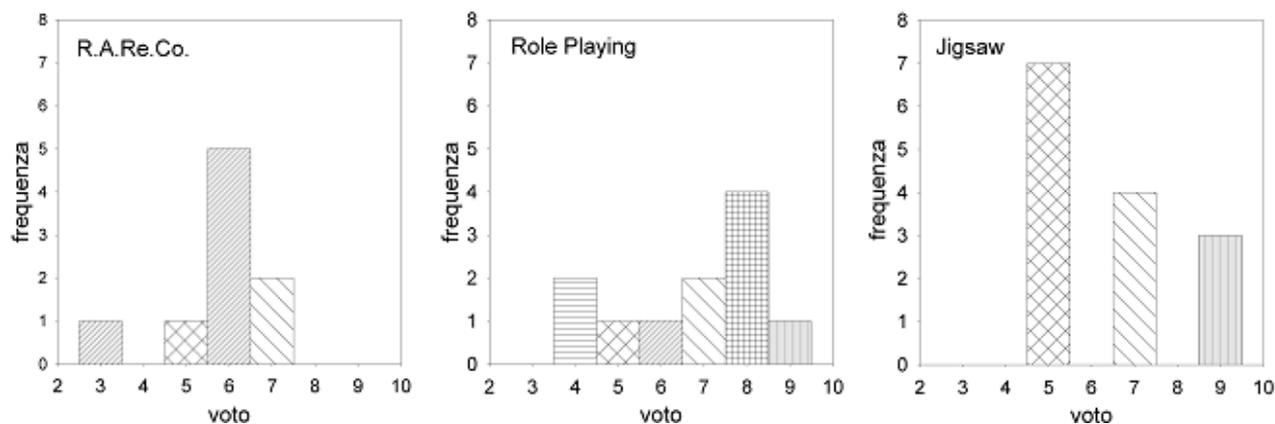


Figura 3. Andamento delle frequenze dei voti di merito risultanti dai questionari somministrati al termine di ogni attività. Il voto è stato ottenuto tramite la conversione, effettuata con identica procedura, dei punteggi conseguiti nelle diverse prove

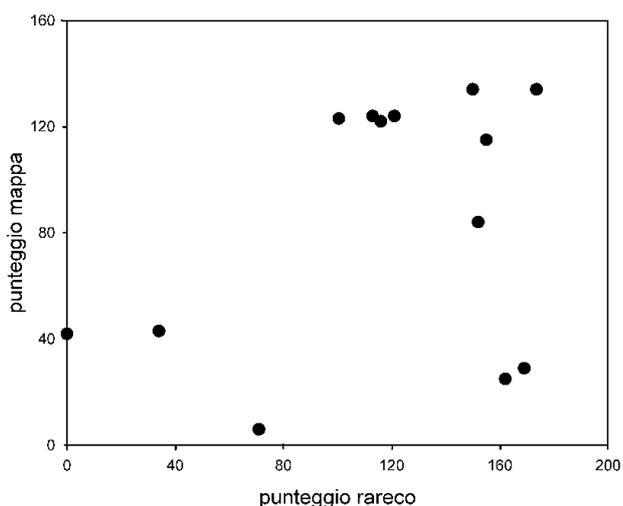


Figura 4. Andamento dei punteggi degli allievi nelle due verifiche sommative basate sul modello R.A.Re.Co. e sulle Mappe Concettuali.

6. Bibliografia

- [1] M. Gardner, *Formae mentis*. Saggio sulla pluralità delle intelligenze, Feltrinelli, Milano, 1993.
- [2] M. Comoglio, M.A. Cardoso, *Insegnare e apprendere in gruppo*, LAS, Roma, 2002
- [3] Sulla scarsa efficacia del sistema educativo italiano per la promozione culturale e sociale della popolazione, si rimanda alle ottime analisi di M. Barbagli e A. Schizzerotto. *Classi, non caste. Mobilità tra generazioni e opportunità di carriera in Italia*. Il Mulino, 3, maggio-giugno 1997, pp. 547-557 e di A. Schizzerotto, *Perché in Italia ci sono pochi diplomati e pochi laureati? Vincoli strutturali e decisioni razionali degli attori come cause della contenuta espansione della scolarità superiore*. Polis, XI, 3, dicembre 1997, 345-65. Da questi studi,

basati sui rapporti statistici dell'ISTAT, emerge come il nostro paese sia caratterizzato da una ridotta mobilità sociale dovuta a diversi fattori storici e economici. Sembra nel contempo assodato che sia il grado di istruzione il principale fattore che decide sulla collocazione occupazionale al primo impiego e, di conseguenza, sulla promozione sociale. Nonostante ciò l'Italia presenta una delle più basse proporzioni di soggetti con scolarità secondaria superiore e universitaria. Questo fenomeno è accentuato dall'elevato numero di abbandoni nei primi anni delle superiori e dell'Università, mediamente più frequenti più è bassa l'origine sociale e minore il livello di istruzione della famiglia di origine. Pare quindi di potere ravvisare, in queste contraddittorie linee di tendenza, le conseguenze negative di un sistema scolastico diventato formalmente più aperto, ma rimasto sostanzialmente incapace di rispondere alle esigenze formative di individui diversi dai figli dei gruppi socialmente e culturalmente privilegiati. Per un'analisi più radicale dello stesso fenomeno si veda anche: F. Fabbri e N. Rossi. *Caste, non classi. Una società immobile*. Il Mulino, 1, gennaio-febbraio 1997.

- [4] L. Cardellini, R.M. Felder, *L'apprendimento cooperativo: un metodo per migliorare la preparazione e l'acquisizione di abilità cognitive negli allievi*, CnS - La Chimica nella Scuola, 1999, **21**, 18.
- [5] R.M. Felder, *Active, inductive, cooperative learning: an instructional model for chemistry?* J. Chem. Ed., 1996, **73**, 832
- [6] D. Novak, D.B. Gowin, *Learning how to learn*, Cambridge University Press, New York, 1984.
- [7] M. Famiglietti, *Verso la distinzione tra pensiero scientifico e pensiero tecnologico*, in Progetto ICARO, a cura di M. Famiglietti, IRRSAE Basilicata, Emilia Romagna, Friuli V.G., Marche, Sicilia, Palermo, 2000
- [8] S. Soresi, *Guida all'osservazione in classe*, Giunti-Barbera, Firenze 1978; P. Bonetti, F. Roman Jacopino., *L'osservazione sistematica degli alunni*, Fabbri, Milano 1978
- [9] J.P. Walters, *Anal. Chem.*, 1991, **63**, 978A; J.P. Walters, *Anal. Chem.*, 1991, **63**, 1077 A; J.P. Walters, *Anal. Chem.*, 1991, **63**, 1091A

Da Democrito a Dalton: un percorso di 2000 anni per definire il concetto di atomo.

Marco Franceschin

Dipartimento di Chimica – Sapienza Università di Roma
marco.franceschin@uniroma1.it

*Si ritiene che esistano il dolce e l'amaro,
il caldo, il freddo e l'ordine.
In verità esistono gli atomi e il vuoto.*
Democrito (ca 400a.C.)

Non si ha certo qui la pretesa di esplorare in maniera esaustiva un percorso così complesso in poche pagine, bensì si intende presentare un filo conduttore interessante per lo sviluppo di un concetto per sua natura così fondamentale nella Chimica, dove studenti e docenti potrebbero poi trovare spunti per un ulteriori approfondimenti.

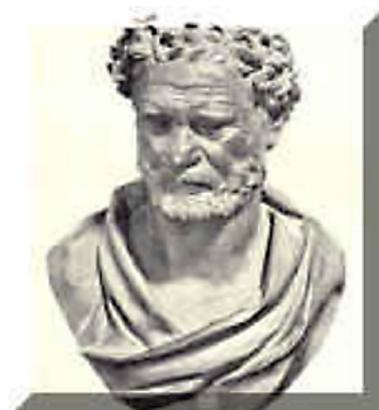
1. I filosofi greci “atomisti”: Leucippo, Democrito ed Epicuro

La presenza di materia, anche dove pare esserci solo il vuoto, non è mai stata messa in dubbio. Gli studiosi dell'antichità sapevano che anche l'aria, pur invisibile, era materiale: con l'aria era possibile gonfiare delle vesciche o spingere le vele delle navi. Ma gli antichi come consideravano la materia?

Già molti secoli prima di Cristo, in Grecia, filosofi e naturalisti erano divisi in due scuole di pensiero: una considerava la materia continua, ovvero divisibile, in porzioni sempre più piccole, all'infinito. La seconda scuola di pensiero riteneva la materia discontinua, costituita da particelle molto piccole "finite", ovvero indivisibili, gli atomi ($\alpha\tau\omicron\mu\omicron\sigma$ = non divisibile).

Ovviamente entrambe le teorie altro non erano che speculazioni filosofiche in quanto non supportate da alcuna indagine scientifica che andasse al di là della semplice osservazione dei fenomeni naturali. Piuttosto erano spesso la risposta ad alcuni quesiti paradossali come quelli esposti da Zenone sull'infinito nello spazio.

Il primo filosofo atomista è da considerarsi probabilmente Leucippo di Mileto (V sec. a. C.). Una delle sue opere "Il grande sistema del mondo", tramandatoci dal suo allievo Democrito (fig. 1), può essere considerata alla base del pensiero atomistico.



Democrito (460 circa -360 a. C.)

Figura 1

Per Leucippo l'essere è il pieno, il non-essere è il vuoto; pieno e vuoto sono i principi delle cose e nella loro relazione si spiegano il movimento e la molteplicità. L'essere è un'infinità di unità indivisibili, gli atomi, diversi per grandezza che muovendosi eternamente nel vuoto ed incontrandosi danno origine alle cose.

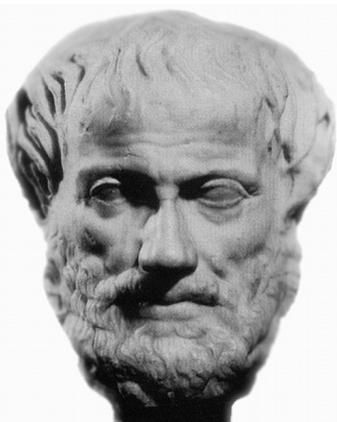
L'esistenza di Leucippo non è certa; infatti la sua opera è ripresa da quello che viene considerato un suo allievo, Democrito di Abdera (ca. 460 - 370 a.C.), uno dei massimi filosofi greci. Per Democrito gli atomi hanno due proprietà: la grandezza e la forma geometrica; ogni aggregato di atomi può disporsi secondo un ordine

diverso, dando luogo a composti diversi. Questi aggregati di atomi producono in noi delle percezioni sensibili quando vengono a contatto con i nostri sensi. In questa visione, gli atomi erano immutabili ed ogni mutamento della realtà era dovuto ad un continuo aggregarsi e disaggregarsi degli stessi.

Leucippo e Democrito davano per scontato il moto degli atomi ma non lo giustificavano (era la terza proprietà degli atomi, insieme alla forma e alla grandezza). Più tardi un altro filosofo greco, Epicuro da Samo (341 - 270 a. C.) ne diede ragione attribuendo agli atomi il "peso". Le teorie epicuree furono esposte nel I secolo a. C. dal poeta latino Tito Lucrezio Caro, nella sua opera "De rerum natura". Epicuro chiama semi gli atomi, perché non possono essere pensati né come punti fisici (ulteriormente divisibili), né come enti matematici (mere astrazioni), ma come principi da cui tutte le cose sono generate. Ogni esistente nasce da un incontro di atomi che costituiscono i corpi: gli atomi, secondo il loro reciproco rapporto, costituiscono la forma o schema per cui in un determinato rapporto gli atomi sono questo essere individuale, in altro rapporto un diverso essere individuale; non esistono quindi essenze, strutture permanenti al di là della varia configurazione degli aggregati di atomi. Epicuro sottolinea che tutta la realtà scaturisce dall'incontro degli atomi, diversi solo per forma, grandezza, e aventi tutti un loro peso e, perciò, in sé ciascuno avente un movimento. Come per Democrito, gli atomi non si differenziano qualitativamente, ma solo per caratteristiche quantitative; molto importante, rispetto a Democrito, è la considerazione del peso tra le caratteristiche proprie degli atomi, per spiegarne il moto.

2. Il pensiero di Aristotele: la battaglia della Chiesa contro il "materialismo"

Le teorie atomistiche furono avversate da un grande filosofo greco, Aristotele di Stagira (384-322 a. C.). Nella sua opera "Fisica", l'idea di Aristotele (fig. 2) è quella di due mondi distinti: quello celeste e quello terrestre.



Aristotele di Stagira

Figura 2

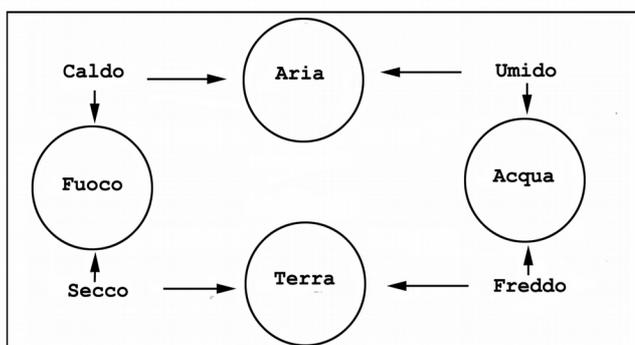
Il mondo celeste è incorruttibile ed inalterabile, è costituito da sfere concentriche, ognuna delle quali

sostiene un pianeta, limitato dalla sfera delle stelle fisse; i moti delle sfere sono impressi da un motore primo immobile e sono eterni. Il mondo terrestre si trova al centro dell'universo ed è corruttibile ed alterabile; è un miscuglio dei vari elementi che si trovano nelle sfere concentriche della terra, dell'acqua, dell'aria e del fuoco. Questa visione non poteva accettare il concetto di atomo, sia per la necessaria esistenza del "vuoto" (accanto all'atomo) per gli atomisti, sia per la difficoltà di spiegare le novità qualitative che vengono fuori a livello macroscopico dalla combinazione degli stessi elementi di partenza.

Eppure, pur non accettando la teoria atomica della materia, Aristotele diede una definizione teorica del concetto di elemento, che difficilmente ancora oggi può essere migliorata: "Ogni cosa è o un elemento o composta da elementi.

Un elemento è quello in cui gli altri corpi possono essere scissi e che esiste in essi sia potenzialmente che attualmente, ma che non può essere esso stesso scisso in una cosa più semplice o differente". L'idea dei quattro elementi fondamentali (acqua, aria, terra e fuoco) risale ad Empedocle (500 a.C.), che si basava su un minimo di "sperimentale": bruciando il legno si sviluppa fumo (aria), in presenza di una fiamma (fuoco), mentre se si avvicina una superficie fredda si condensa acqua, e alla fine rimane cenere (terra). Nel disegno aristotelico, i quattro elementi fondamentali si differenziano per le loro proprietà (fig.3):

1. il fuoco è caldo e secco,
2. l'acqua è fredda e liquida (umido),



I quattro elementi di Aristotele

3. l'aria è calda e liquida,
4. la terra è fredda e secca.

Figura 3

Il pensiero aristotelico fu successivamente accettato pienamente dalla Chiesa, anzi reso dogma; essa, infatti, considerava estremamente pericolose le teorie atomistiche e, quindi, materialistiche di Democrito ed Epicuro al punto di considerare eretico chi le professava. Non c'è da stupirsi quindi se per più di mille anni lo studio della materia e delle sue trasformazioni sia rimasto pervaso da un notevole misticismo e profondamente legato a pratiche esoteriche.

In particolare, a partire dal VII secolo, in seguito alle invasioni arabe, si sviluppò l'alchimia che sopravvisse nei vari paesi europei per tutto il medioevo. Durante questo periodo, l'attività degli alchimisti rimase quasi sempre clandestina o comunque segreta e circoscritta a pochi cultori. Erano infatti previste pene severissime a chi fosse stato riconosciuto colpevole di stregoneria, magia, pratiche occulte o contatti con il demonio; l'alchimista e il mago furono molto spesso confusi e trattati di conseguenza.

L'obiettivo degli alchimisti era la ricerca della "pietra filosofale": misteriosa sostanza in grado di trasformare in oro i metalli vili. Nonostante l'approccio ben poco "scientifico" dell'alchimia, essa ebbe il merito di tramandare e migliorare aspetti tecnologici rilevanti (ad esempio le arti metallurgiche e vetrarie dell'antichità) e di stimolare lo studio dei metalli e di altre sostanze chimiche. Fra le più importanti scoperte dell'alchimia antica c'era la più antica ricetta per la preparazione dell'acido nitrico; bisogna inoltre riconoscere all'alchimia il merito di aver valorizzato l'attività sperimentale e di aver arricchito il nostro patrimonio culturale di conoscenze chimiche sparse, libri illustrati e una simbologia affascinante.

Vale la pena di notare che oltre l'ipotesi aristotelica sulla struttura della materia la Chiesa sposò, com'è noto, anche la teoria geocentrica della meccanica celeste. Entrambe queste teorie durarono per moltissimi anni e furono corrette solo molto più tardi da grandi scienziati moderni quali Copernico, Galilei e Newton, in concomitanza con la nascita del metodo scientifico.

3. Lo studio dei gas: da Boyle ad Avogadro

Le basi della chimica moderna o meglio della chimica "scientifica" (intendendo quindi non tanto una collocazione temporale, quanto lo studio sistematico e scientifico della materia) si possono individuare negli studi sui gas compiuti tra il '600 e il '700. Pur non trattandosi di trasformazioni chimiche, gli studi sulle trasformazioni fisiche dei gas hanno infatti segnato quel passaggio tra il qualitativo e il quantitativo, necessario per poter parlare di "scienza" come la intendiamo oggi.

In particolare, con Boyle (1627-1691) fu fatto il passo fondamentale verso l'instaurazione della chimica come scienza indipendente. Egli stesso scrive: "Io non avanzo, come i veri scettici, dubbi aventi lo scopo di convincere la gente che tutto al mondo è dubbio e sempre resterà tale per la conoscenza umana, ma io li avanzo con lo scopo e la speranza di liberarci finalmente da loro, raggiungendo quella indubbia verità che cerco e penso di trovare" ("The sceptical chymist"). Boyle gettò le basi dello studio sistematico del comportamento dei gas, che si completeranno solo alla fine del secolo successivo con le leggi di Charles e Gay-Lussac.

Senza scendere nel dettaglio di queste teorie, per quel che riguarda il percorso storico che si sta qui seguendo, è importante sottolineare come gli studi sui gas portarono, nel 1811, il fisico italiano Avogadro (1776-1856) a

formulare l'ipotesi che "Nelle stesse condizioni, di temperatura, pressione e volume uguali, gas diversi contengono un uguale numero di particelle (molecole o atomi)". A differenza delle leggi sui gas, quello di Avogadro è un "principio", infatti non poteva essere dimostrato, ma tutta la teoria atomica che ne seguì fu coerente con le successive scoperte e rese valido il principio stesso.

4. La nascita della chimica moderna: Lavoisier, Proust e Dalton

Il *Traité Élémentaire de Chimie*, pubblicato da Lavoisier nel 1789 (fig. 4), si può considerare il primo testo di chimica moderna.



Antoine Lavoisier (1743-1794)

Figura 4

Tra le altre cose presenta un chiaro enunciato della legge della conservazione della massa, secondo cui in una reazione chimica che avvenga in un sistema chiuso la massa delle sostanze reagenti è uguale alla massa dei prodotti di reazione (differenziata qualitativamente negli elementi originali). Tale legge, che oggi può apparire scontata, non lo era affatto all'epoca, anche in considerazione della scarsa precisione degli strumenti, e rappre-

sentò il definitivo superamento della teoria del flogisto, aprendo appunto le porte alla chimica moderna.

L'analisi delle sostanze e dei loro costituenti, condotta dal chimico francese Proust (1754-1826) sulla scia del lavoro di Richter (1762-1807), mise in evidenza la struttura discontinua delle sostanze chimiche. I composti oggi sono determinati dalla loro composizione, all'epoca erano il prodotto di una ricetta di preparazione in cui venivano indicate le proporzioni dei reagenti. Proust si pose il problema se le percentuali di un composto dipendono dal modo di preparazione o se ne sono indipendenti, convinto che fosse una caratteristica della sostanza. In base ai risultati ottenuti, la materia appariva non più come un tutto continuo e omogeneo, ma come un'unione di sostanze differenti, unione che implicava una sua struttura "granulare". Nel 1806 Proust formulò la legge delle proporzioni definite, secondo cui ogni composto puro, indipendentemente dall'origine, contiene sempre gli stessi elementi, sempre nello stesso rapporto quantitativo.

Due anni dopo, lo scienziato inglese John Dalton (1766-1844) ampliò le osservazioni di Proust, stabilendo che quando due o più specie elementari possono formare più composti, le quantità di una specie che si combinano con una quantità fissa di un'altra variano in modo discontinuo e sono tutte multipli interi di una stessa quantità (legge delle proporzioni multiple). Sulla base di queste conclusioni, e considerando le leggi precedentemente proposte da Lavoisier e da Proust, Dalton formulò la teoria atomica, per tentare di spiegare tutte queste osservazioni. Tale teoria si basa su alcuni punti fondamentali:

- Le specie elementari sono costituite da particelle indivisibili, chiamate atomi
- Gli atomi di una data specie elementare sono tutti uguali tra di loro e diversi da quelli delle altre specie elementari
- Gli atomi sono indistruttibili e mantengono la loro individualità durante le reazioni chimiche
- Atomi di elementi diversi si combinano tra loro secondo numeri interi e piccoli dando origine ai composti, eventualmente in proporzioni diverse (ma sempre definite) dando origine a composti diversi.

In particolare, Dalton riveste gli atomi di determinazione numerica attraverso il peso atomico (relativo): è questo il passaggio fondamentale dall'ipotesi filosofica di atomo alla teoria scientifica, che necessariamente si deve basare sulla misurazione di una proprietà.

Il ragionamento che portò Dalton alla formulazione della sua teoria fu il seguente. Perché mai – egli si chiese – gli elementi che formano i composti (come mostrava la legge di Proust) partecipano alla reazione secondo valori in peso definiti e interi? Se la materia fosse continua questo non dovrebbe verificarsi, mentre solo se la materia fosse di natura atomistica, la legge delle proporzioni definite e costanti troverebbe giustificazione coerente.

Con l'esposizione della sua teoria Dalton gettò i pilastri della chimica come la conosciamo noi oggi e diede un significato scientifico a quel termine "atomo" proposto più di duemila anni prima dal filosofo greco Democrito, su base puramente speculativa. Pur essendo la scelta del

termine di origine greca significativo per definire il concetto di atomo come costituente di base della materia, i chimici si resero ben presto conto che l'atomo non poteva essere, come immaginava Dalton e come suggeriva anche il nome che gli era stato assegnato, una semplice pallina di materia omogenea e indivisibile. I limiti di tale modello apparvero evidenti non appena ci si chiese come gli atomi potessero stare uniti insieme a formare aggregati, e quali fossero le forze e i meccanismi in grado di determinare la formazione di alcuni legami e la rottura di altri. I fisici, d'altra parte, avevano l'esigenza di spiegare il fenomeno dell'elettricità, una forma di energia la cui origine e natura doveva risiedere necessariamente negli atomi, visto che un corpo materiale poteva venire elettrizzato anche per semplice strofinio. Nei primi decenni del '900 si definì un modello atomico sempre più accurato e in grado di spiegare i diversi fenomeni fisici e chimici.

Vale la pena di notare che molto prima di comprendere a fondo la struttura subatomica, i chimici della seconda metà dell'800 riuscirono a definire una scala di pesi atomici degli elementi relativamente accurata per gli strumenti dell'epoca e a determinare correttamente la formula molecolare di molti composti. Questi studi presero origine dalle reazioni in cui reagenti e prodotti erano in fase gassosa. Utilizzando il principio di Avogadro (vd. paragrafo precedente) era infatti possibile ottenere la stechiometria dei prodotti valutando correttamente il rapporto tra i volumi dei reagenti. Allo stesso tempo, dai rapporti in peso di volumi uguali di elementi o composti in fase gassosa, si poteva definire una scala di pesi atomici e molecolari relativi ad un riferimento arbitrario (inizialmente $H = 1$). Tale metodo fu razionalizzato in maniera sistematica da Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Il lavoro non fu certo facile e richiedeva molta attenzione; dovette essere molto forviante inizialmente la presenza di gas biatomici omonucleari (O_2 , H_2 , N_2). In via di principio era ragionevole aspettarsi questi gas in forma di singoli atomi, dato che erano degli "elementi", tanto che lo stesso Dalton propose per la reazione di formazione dell'acqua la stechiometria errata: $H + O \rightarrow HO$ (vd. paragrafo successivo). Per gli elementi più pesanti e i composti non gasificabili, si ricorse a metodi indiretti (legati alla formazione di derivati gassosi) ove possibile, o al metodo basato sulla costanza del calore specifico molare dei solidi, messo a punto da Dulong e Petit.

È infine opportuno sottolineare che solo un secolo dopo l'enunciazione del principio di Avogadro si riuscì a calcolare il numero di particelle contenute in una mole di una qualsiasi sostanza (il numero di Avogadro appunto, pari a $6,022 \times 10^{23}$), secondo quanto indicato da Perrin che nel suo libro "Les Atoms" (1913) dà 13 modi diversi di determinare questo numero.

5. Gli "errori" di Dalton e le "correzioni" di Gay-Lussac e di Avogadro

Dalton ebbe sicuramente il merito di ricondurre le osservazioni proprie e dei suoi predecessori nell'ambito di una teoria generale, riprendendo concetti filosofici ed applicandoli a dati scientifici.

Tuttavia, assumendo erroneamente una composizione monoatomica per gli elementi in fase gassosa (H, N, O) arrivò a conclusioni sbagliate relativamente ai pesi atomici degli elementi e alla formula molecolare dei composti da lui analizzati.

Nella pubblicazione del 1805 di una sua lecture del 1803, possiamo trovare una tabella di pesi atomici e molecolari (vedi Tabella 1) che prende come riferimento $H=1$, arrivando però a conclusioni decisamente lontane da quelle che sappiamo oggi essere corrette.

Tabella 1

“TABLE of the relative weights of the ultimate particles of gaseous and other bodies.

Hydrogen	.	.	.	.	1
Azot	.	.	.	.	4.2
Carbone	.	.	.	.	4.3
Ammonia	.	.	.	.	5.2
Oxygen	.	.	.	.	5.5
Water	.	.	.	.	6.5
Phosphorus	.	.	.	.	7.2
Phosphuretted hydrogen	.	.	.	.	8.2
Nitrous gas	.	.	.	.	9.3
Ether	.	.	.	.	9.6
- Gaseous oxide of carbone	.	.	.	.	9.8
Nitrous oxide	.	.	.	.	13.7
Sulphur	.	.	.	.	14.4
Nitric acid	.	.	.	.	15.2
Sulphuretted hydrogen	.	.	.	.	15.4
- Carbonic acid	.	.	.	.	15.3
Alcohol	.	.	.	.	15.1
Sulphureous acid	.	.	.	.	19.9
Sulphuric acid	.	.	.	.	25.4
Carburetted hydrogen from stagnant water	.	.	.	.	6.3
Olefiant gas	.	.	.	.	5.3

È opportuno sottolineare che oltre all'assunto erraneo sulla composizione monoatomica dei gas elementari, anche la scarsa accuratezza dei dati da lui raccolti contribuì ad un risultato finale decisamente lontano dalla realtà. Ad esempio, ci si sarebbe aspettato comunque un peso atomico dell'ossigeno pari a 8, mentre secondo i dati di Dalton la composizione dell'acqua (OH) è di 5.66:1 (O/H). Più accurato è il dato relativo all'ammoniaca (NH secondo Dalton) e quindi all'azoto, per il quale in effetti, a partire dalle assunzioni fatte, ci si aspetterebbe un valore di $14/3 = 4.7$. Un quadro completo della composizione dei principali composti binari e ternari secondo Dalton si può ricavare dal pittoresco schema riportato in figura 5.

Le leggi ponderali si rivelarono quindi insufficienti per stabilire le formule.

Lo studio delle combinazioni in volume ha permesso di progredire nella determinazione delle formule. È ancora lo studio dei gas che farà progredire la chimica e rinforzerà le concezioni atomistiche.

Gay-Lussac, su consiglio di Berthollet, suo maestro, aveva studiato la dilatazione dei gas: aveva d'altro canto notato che la combinazione dell'idrogeno e dell'ossigeno, nella sintesi dell'acqua, si faceva nella proporzione di 2 a 1.

In alcuni appunti per la Società d'Arcueil nel 1809, Gay-Lussac riferisce sui risultati ottenuti: “*Non solamente i*

Page 361

12th October 1803

New theory of the constitution of the ult. atoms of Bodies.

Characters.				Or thus
Ⓐ	Hydrogen	.	.	⊕
Ⓐ	Azote	.	.	Ⓛ
Ⓞ	Oxygen	.	.	Ⓞ
●	Carbon or charcoal	.	.	●
Ⓢ	Sulphur	.	.	⊕
	Phosphorus	.	.	Ⓢ

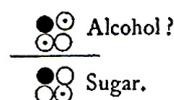
Page 359 Binary Compounds.

ⓄⓄ	Water.
ⓄⓁ	Ammonia.
●Ⓞ	Gaseous oxide of carbon.
ⓁⓄ	Nitrous gas.
●Ⓞ	Carbonated hydrogen gas.
⊕Ⓞ	Sulphureous Acid.
⊕Ⓢ	Sulphurated Hydrogen.
ⓈⓄ	Phosphorous acid.
ⓈⓈ	Phosphorated Hydrogen.

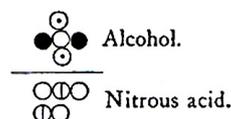
Ternary Compounds.

ⓄⓄⓄ	Nitrous oxide.
ⓄⓄⓄ	Nitric acid.
Ⓞ●Ⓞ	Carbonic acid.
Ⓞ⊕Ⓞ	Sulphuric acid.
●Ⓞ●	Ether.
ⓄⓈⓄ	Phosphoric acid.

Page 355 Compounds of 4 Particles.



Page 353 Compounds of 5 Particles.

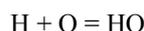


DALTON'S SYMBOLS OF ELEMENTS AND COMPOUNDS.

Figura 5

gas si combinarono in proporzioni molto semplici, come abbiamo appena visto, ma anche la contrazione apparente di volume, che essi presentano nella combinazione ha pure un rapporto semplice col volume dei gas, o piuttosto con quello di uno di essi. Secondo l'idea ingegnosa di John Dalton che le combinazioni si fanno atomo per atomo, i diversi composti che i due corpi possono formare sarebbero prodotti dalla scissione di una molecola di uno con una molecola dell'altro o con due o con due o con un numero più grande, ma sempre senza valori intermedi".

A partire quindi dall'osservazione sperimentale che 2 volumi di idrogeno si combinano con 1 volume di ossigeno per formare acqua, l'equazione chimica corrispondente alla formazione dell'acqua che secondo Dalton si scriveva:

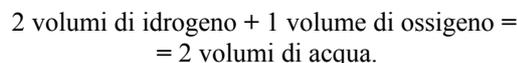


diventa secondo Gay-Lussac:



Questa seconda formulazione cambia non solamente la formula dell'acqua ma anche il peso atomico dell'ossigeno che passa da 8 a 16.

Il progresso è ancora insufficiente a spiegare il fatto che, quando svolta in fase gassosa la formazione dell'acqua risulta essere:



Fu Amedeo Avogadro a proporre una possibile soluzione al problema, nell'ambito degli studi che portarono alla definizione del principio che porta il suo nome. Nel 1811 egli scriveva: "Occorre dunque ammettere che vi siano anche dei rapporti molto semplici fra i volumi delle sostanze gassose ed il numero delle molecole semplici, o composte, che le formano. L'ipotesi che per prima si presenta a questo riguardo e che sembra anche la sola ammissibile, è di supporre che il numero delle molecole integranti in qualunque gas sia sempre lo stesso a volume eguale, oppure sia sempre proporzionale ai volumi".

A partire da queste osservazioni Avogadro propose di scrivere una nuova versione dell'equazione di formazione dell'acqua, in grado di spiegare tutti i dati:



Questa formulazione, che oggi sappiamo essere corretta, sollevò, in quel tempo, grandi difficoltà, perché veniva ad intaccare il concetto semplice ed intuitivo dell'atomo che si era sviluppato fino a quel momento. Avogadro proponeva infatti di ammettere che nelle combinazioni chimiche le molecole gassose si possono dividere.

Possiamo così schematizzare il percorso che ha portato alla corretta interpretazione della reazione di formazione dell'acqua a partire da idrogeno e ossigeno, insieme alle

rappresentazioni dei relativi modelli proposti dai tre autori (fig. 6).

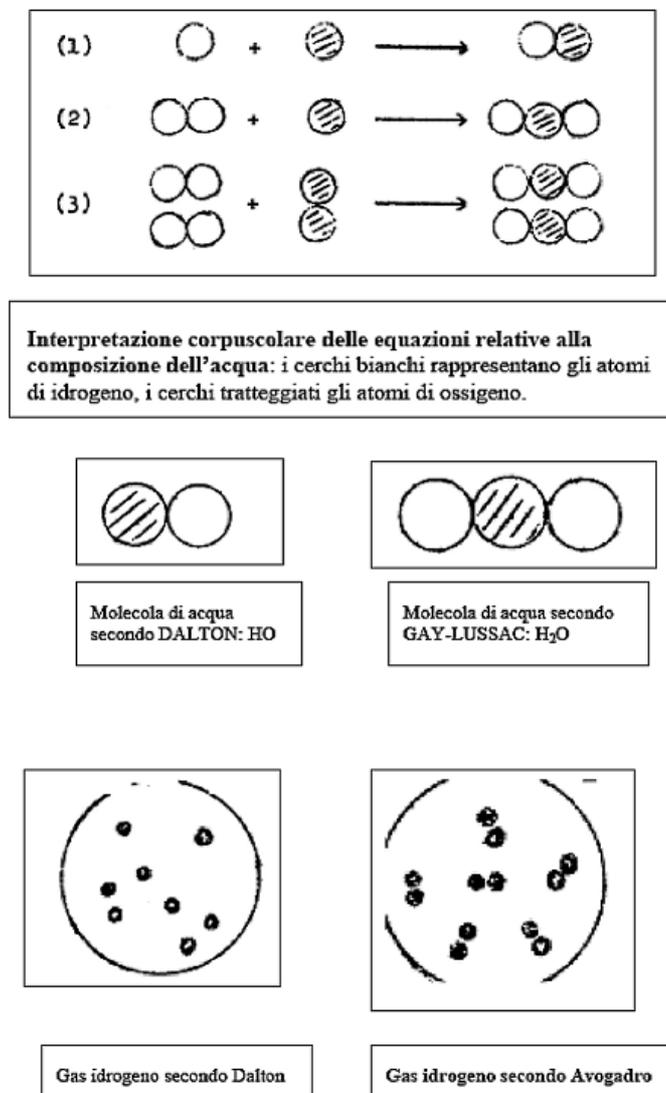


Figura 6

6. Esperienze di laboratorio

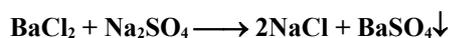
Vengono ora proposte qui di seguito alcune esperienze che potrebbero essere utilizzate a scopo dimostrativo o “addestrativo” (quindi in seguito alla spiegazione teorica) e/o a scopo esplorativo o “comparativo”, per poter ricavare una legge dalle evidenze sperimentali, relativamente alle leggi esposte in precedenza.

Esperienza I: Verifica sperimentale della legge di Lavoisier.

Questa esperienza può essere efficacemente utilizzata sia nel percorso dati → concetti, che in quello concetti → dati.

Parte 1: reazione di formazione di un precipitato.

Si pesano su bilancia analitica due quantità note di cloruro di bario (BaCl₂) e di solfato di sodio (Na₂SO₄). Si sciolgono in due volumi, circa uguali, di acqua e si mescolano per farli reagire. Subito si forma un precipitato bianco, secondo la reazione (non nota agli studenti):



A questo punto, si filtra il precipitato e lo si secca per pesarlo: il peso del prodotto (solfato di bario) è uguale al peso dei due reagenti? Si è perso qualcosa?

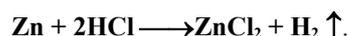
2000 anni per definire il concetto di atomo

Il volume di acqua in cui è avvenuta la reazione viene travasato in un becker, e l'acqua viene fatta evaporare per ebollizione. Si pesa il residuo (cloruro di sodio + reagente iniziale in eccesso) nel becker: sommando questo peso a quello del solfato di bario cosa possiamo osservare?

Se si è agito correttamente la massa dei prodotti di reazione risulta, nei limiti dell'errore sperimentale, eguale a quella dei reagenti.

Parte 2: reazione con sviluppo di un gas.

In una beuta si pone 1 g di zinco in granuli o in polvere; si prende una provetta che possa essere completamente contenuta nella beuta, ad es. una provetta da centrifuga, e si versa in essa acido cloridrico sol. 37 % fino ad un centimetro dal bordo. Si infila la provetta nella beuta in modo che resti in piedi sorretta dal collo stesso della beuta. Si pesa il tutto sulla bilancia analitica. Lavorando sotto cappa e con molta attenzione, si inclina in modo da far uscire l'acido dalla provetta ed entrare in contatto con lo zinco; la reazione che avviene (non nota agli studenti) è:



Si pesa di nuovo il sistema: il peso è rimasto costante? Abbiamo perso qualcosa?

Si ripete l'esperienza, tappando la beuta con idoneo tappo in gomma munito di rubinetto di sicurezza; se disponibile si sigilla con un pezzetto di "parafilm" per garantire la totale ermeticità.

L'idrogeno che si sviluppa resta ovviamente nel sistema chiuso, per cui, sottoponendo il tutto a nuova pesata, si ottiene un valore eguale, nei limiti dell'errore sperimentale, a quello iniziale. Anche in questo caso la massa dei reagenti è uguale a quella dei prodotti di reazione.

Nota: Al termine dell'esperienza svuotare la beuta agendo sul rubinetto del tappo, lontano da qualsiasi fiamma!

Proposta: Se eseguita all'inizio dell'unità didattica sulle leggi ponderali, alla fine della stessa gli studenti potrebbero essere portati a conoscenza delle equazioni chimiche che descrivono le reazioni avvenute.

Seguono le tabelle 2 e 3 usate per guidare gli studenti nell'analisi dei dati.

Tabella 2		
composto	peso	osservazioni
BaCl ₂		
Na ₂ SO ₄		
BaSO ₄		
si è perso qualcosa?		
NaCl		
sommando questo peso a quello del solfato di bario cosa possiamo osservare?		

Tabella 3	
I) beuta aperta	
peso iniziale	peso finale
II) beuta tappata	
peso iniziale	peso finale
osservazioni:	

Esperienza II: Preparazione di un composto, la legge di Proust.

Questa esperienza consente di introdurre sperimentalmente la legge di Proust. Nella prova viene preparato cloruro di zinco facendo reagire quantità pesate di zinco con un eccesso di HCl in soluzione.

Nota: si deve lavorare sotto cappa.

Ai vari gruppi di lavoro vengono assegnate quantità diverse e crescenti di zinco, comprese tra 1 g e 2,5 g. Ogni gruppo prepara una soluzione di HCl diluita 1:2 o 1:3 dal 37% e ne versa dai 20 ai 30 cc in un becker (non è necessaria una misura esatta perchè è in eccesso). Viene aggiunto poco a poco tutto lo zinco pesato in precedenza

con accuratezza. Si mescola e se necessario si aggiunge altro acido, fino a completa dissoluzione dello zinco. Si elimina l'acqua per riscaldamento su piastra (e con essa HCl in eccesso), in modo da lasciare un residuo bianco sul fondo che viene seccato per 15 minuti in stufa e pesato.

L'esperienza è di facile realizzazione, con qualche dovuta accortezza, e consente di avere un elevato numero di dati da rielaborare, in base al numero di gruppi (ogni gruppo potrebbe anche eseguire più volte l'esperienza partendo da quantità diverse di zinco). La rielaborazione dei dati è bene che sia collettiva. Sottraendo al peso di ZnCl₂ il peso dello zinco iniziale, si ottiene la quantità di cloro che si è

combinata con la corrispondente quantità di zinco. Si possono così facilmente trasformare questi dati in rapporto di combinazione Zn/Cl, nonché nelle rispettive percentuali e confrontare i risultati ottenuti dai diversi

gruppi. I dati vengono raccolti in una tabella tipo la 4 sotto riportata

Valori teorici: Zn/Cl = 0.92 ; Zn = 48% , Cl = 52%.

Tabella 4					
g Zn	g ZnCl ₂	g Cl (differenza)	Zn/Cl	% Zn	% Cl

Esperienza III: analisi di due composti rame/cloro: la legge di Dalton.

In questa esperienza si effettua la decomposizione del cloruro rameoso e del cloruro rameico al fine di determinare i rispettivi rapporti di combinazione. Oltre che verificare la legge di Proust, questa esperienza consente in modo particolare di introdurre la legge di Dalton.

Vengono assegnati a gruppi diversi CuCl e CuCl₂(2H₂O) da pesare con accuratezza in un range tra 1g e 4g; il cloruro rameico prima della pesata deve essere stato disidratato in stufa per 30 minuti. Vengono preparate soluzioni dei due composti (il cloruro rameoso potrebbe non sciogliersi completamente ma ciò non altera la successiva reazione) in cui vengono immerse lamine di alluminio (in eccesso) tenute con una pinzetta. La soluzione viene scaldata per favorire la completezza della reazione, in cui il rame, indipendentemente dal numero di

ossidazione, viene ridotto a rame metallico. Pulendo il rame dalla superficie della lamina di alluminio, facendo attenzione a non perdere il metallo appena formato al di fuori del becker, si può constatare la completezza della reazione, quando questa rimane "pulita". A questo punto il rame può essere semplicemente filtrato e lavato, per poi essere seccato in stufa per 30 minuti e infine pesato.

Anche in questo caso, come già nell'esperienza precedente, con un procedimento relativamente semplice si possono ricavare diversi dati dai vari gruppi, per poterli confrontare tra di loro. In particolare si possono ricavare i rapporti di combinazione Cu/Cl nei due casi ed osservare che tale rapporto per il cloruro rameoso è doppio rispetto al cloruro rameico. I dati sperimentali e calcolati vengono raccolti nella tabella 5:

Valori teorici: cloruro rameoso Cu/Cl = 1.8 ; cloruro rameico Cu/Cl = 0.9.

Tabella 5				
sale	g	g Cu	g Cl (differenza)	Cu/Cl
cloruro rameoso				
cloruro rameico				

Esperienza IV: stima delle dimensioni e della massa delle molecole di un liquido e della costante di Avogadro.

È praticamente impossibile con mezzi ordinari isolare una singola molecola per renderla oggetto di uno studio quantitativo delle sue proprietà.

Per alcune sostanze è tuttavia possibile con diverse metodologie ottenere strati talmente sottili da rendere plausibile l'ipotesi che lo strato sia quasi o certamente monomolecolare.

Ad esempio Rutherford progettò la sua celebre esperienza, che portò alla comprensione della struttura interna dell'atomo, sparando particelle α contro un

sottilissimo strato di oro. Ma la possibilità di laminare oro in strati così sottili richiede strumentazione non usualmente disponibile.

Con i liquidi la cosa è più semplice. Se due liquidi hanno diversa densità (massa specifica) e non si mescolano, posti nello stesso recipiente, nello stato di equilibrio, si dispongono in strati separati, con il liquido meno denso sovrastante quello più denso. Il liquido poco denso e non mescolabile con l'acqua che verrà usato nella misura successivamente descritta è l'**acido oleico**, quindi da ora in poi, per dare maggiore concretezza alla trattazione, si fa riferimento a tale sostanza.

2000 anni per definire il concetto di atomo

Lo spessore di ogni strato dipende dalla qualità di liquido usata.

Se si usa una quantità di acido oleico così piccola da non permettere la formazione di uno strato che copra totalmente la superficie del liquido sottostante, ma solo di una 'macchia' che lo copra parzialmente, appare ragionevole l'ipotesi che la 'macchia' sia formata da uno strato monomolecolare. Se si conosce il volume V di acido oleico usato e si riesce a stimare l'area S della superficie della macchia, è possibile ottenere lo spessore d della macchia stessa che dovrebbe ragionevolmente coincidere con lo spessore di una molecola

$$d = \frac{V}{S}$$

Se ora si suppone che la molecola abbia forma di cubo, si

può stimare il volume v della molecola

$$v = d^3$$

e, se si conosce la densità ρ dell'acido oleico, se ne può stimare la massa m

$$m = \rho v = \rho d^3$$

Se poi si conosce la massa M di una mole di tale sostanza è possibile stimare il numero di Avogadro N

$$N = \frac{M}{m}$$

I dati vengono raccolti e ordinati nella tabella 6.

Tabella 6		
V	volume di acido oleico	
S	superficie della macchia	
d	spessore della macchia	
v	volume della molecola	
m	massa della molecola	
N	numero di Avogadro	

Bibliografia

Alcuni degli schemi illustrativi sono tratti dalle dispense di "Cenni di storia della chimica" del professor Bonino, messe a disposizione dal professor Castellari dell'Università di Bologna, che si ringrazia sentitamente.

1. V.E. Alfieri "Atomos – Idea. L'origine del concetto dell' atomo nel pensiero greco", Congedo, Galatina 1979
2. Ferdinando Abbri: "Le terre, le acque, le arie: La rivoluzione chimica del Settecento", Bologna 1981
3. Jurij I.Solov'ev: "L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri", EST Mondadori 1976
4. Serge Hutin "LA VITA QUOTIDIANA DEGLI ALCHIMISTI NEL MEDIOEVO" Rizzoli Libri
5. I. Asimov "Breve storia della Chimica", Zanichelli 1994
6. Appunti prof. Calascibetta – SSIS Lazio
7. Appunti del prof. Giovanni Battista Bonino (1899-1985) per i suoi studenti

8. Dickerson, Gray, Haight "Principi di chimica", Zanichelli 1995
9. Bagatti F., Corradi E., Desco A., Ropa C. "Elementi di chimica – Guida per l'insegnante" Ed. Zanichelli (2000)
10. Approfondimenti in rete:
<http://www.fisicamente.net/index-171.htm>
http://www.emsf.rai.it/dati/interviste/In_168.htm
http://spazioinwind.libero.it/bmarco/gli_atomisti.htm
<http://www.ndonio.it/Alchimia.htm>
<http://www.iisalessandrini.it/progetti/medioevo/alchimia.htm>
<http://www.robertobigoni.it/Fisica/AcidoOleico/AcidoOleico.htm>
<http://www.calion.com/cultu/atomo/personag.htm>
<http://www.itchiavari.org/chimica/lab/lavoisier.html>
<http://www.ciam.unibo.it/photochem/Chimica1A.pdf>
http://www.cosediscienza.it/chimica/05_atomo.htm

Moto laminare o turbolento?

Antonella Casarini*, Stefania Nesi**

*Istituto Tecnico Industriale Statale "G. Bruno" – Via I Maggio, 8 – Budrio (BO) – casarini@scuole.bo.it

**Istituto Tecnico Industriale Statale "O. Belluzzi" – Via Cassini, 3 – 40133 Bologna – nesi@scuole.bo.it

Riassunto

Questa esperienza di laboratorio permette di dedurre sperimentalmente il tipo di moto di un fluido in un condotto, attraverso il calcolo del numero di Reynolds, classificandolo come turbolento o laminare. Si tratta di un'esperienza inseribile nel contesto della disciplina "Tecnologie Chimiche Industriali" dei trienni per Chimici e in tutte le materie dove venga fatta una trattazione anche sperimentale della Fluidodinamica; permette inoltre l'utilizzo del foglio elettronico nell'elaborazione dei dati.

Abstract

This laboratory experiment makes it possible to determine the model of flow of fluids in ducts and to classify it, according to the calculation of Reynold's number, as "turbulent" or "laminar". This method may be incorporated into the framework of the discipline of Chemical Technologies for Industry within the three-year course in Chemistry and inserted in those subject which include the empirical study of the Dynamics of fluids. Furthermore, this method afford the elaboration of data through the use of spreadsheets.

Introduzione

Nell'ambito della materia "Tecnologie chimiche industriali", trattata nel triennio del corso Chimici, al terzo anno si affronta la fluidodinamica. I ragazzi si trovano praticamente per la prima volta ad utilizzare dei numeri adimensionali utilizzabili all'interno di modelli. Inoltre grande spazio viene dato all'apprendimento del foglio elettronico e al suo utilizzo nell'elaborazione dei dati sperimentali, utilizzando poi anche nel corso di altre discipline di indirizzo.

Senza fare della retorica, gli studenti sono sempre meno abituati a "lavorare con le mani" e a fare collegamenti al di fuori del contesto di cui si parla: pertanto, a parte coloro che sono abituati ad andare a pescare in fiumi o canali e quindi ad osservare, volenti o nolenti, il moto dell'acqua, sono pochi quelli che riescono a dare una definizione operativa di moto laminare o turbolento. Allo stesso tempo la definizione presa dal libro di testo [1], che definisce come turbolento un moto "vorticoso" e come laminare un moto "viscoso", non è sufficiente ad

individuare le situazioni intermedie. Abbiamo quindi utilizzato il numero di Reynolds, calcolabile con la formula seguente:

$$Re = \frac{d \cdot u \cdot \rho}{\eta}$$

dove d è il diametro del condotto, u , ρ e η sono rispettivamente la velocità, la densità e la viscosità del fluido. Tale termine, che si utilizza anche nel calcolo delle perdite di carico, è un numero puro: se il suo valore è inferiore a 2000, si può classificare il moto come laminare, mentre se superiore a 4000, il moto diventa turbolento. In questo modo è possibile associare l'osservazione visiva del movimento del fluido con la classificazione più rigorosa.

I termini presenti nell'espressione del numero di Reynolds individuano immediatamente quali siano i fattori che determinano la tipologia del moto, e cioè il tipo di fluido (che definisce densità e viscosità), la sua velocità (modificabile inclinando in modo diverso il tubo usato) ed il diametro del condotto: proprio dall'isolamento di queste variabili siamo partiti per impostare l'esperienza di laboratorio.

Questa esperienza, che presenta alcune difficoltà di tipo operativo facilmente superabili, si è prestata anche per una elaborazione mediante foglio elettronico che permettesse un'analisi congiunta dei dati sperimentali, fatta da ciascuno studente con i dati di tutta la classe.

Materiali per l'esperienza

Per osservare la variazione del tipo di moto al variare dei tre fattori sopraindicati (diametro del condotto, velocità, tipo di liquido) abbiamo utilizzato i seguenti materiali:

- Due tubi di vetro dritti, lunghi almeno 1 metro, di diametro differente (nel nostro caso da 2,3 cm e 0,7 cm circa): il diametro interno è stato determinato con un calibro ventesimale, mediando i dati del diametro all'entrata e di quello all'uscita.
- Tre liquidi differenti, di cui siano state misurate (o di cui sia nota altrimenti) sia la densità che la viscosità (nel nostro caso acqua, magari colorata con una goccia di indicatore per migliorare il contrasto, alcol denaturato e olio di oliva o qualsiasi liquido decisamente viscoso). Ne servono circa 1000 mL, per bagnare bene il tubo.

Moto laminare o turbolento?

► Becher per la raccolta del liquido in uscita (due per ogni tubo), sacchetti di polietilene (quelli per surgelati, da 2 o 3 litri), fascette di plastica (quelle bianche da elettricista) o elastici di gomma, sostegni ad asta con morsetti, cronometro (... anche quello del cellulare va bene)

Procedimento

Tagliare un angolo di un sacchetto, fissarlo con una fascetta ad una estremità del tubo, fissare quindi il tubo a due aste che lo sostengano e a quello vicino al sacchetto attaccare anche un anello da imbuto, su cui fissare ulteriormente il sacchetto (come si può osservare dalla figura 1).



Figura 1: particolare del sacchetto attaccato in testa al dispositivo

Il sacchetto ha la funzione di permettere il riempimento del tubo con una quantità adatta di liquido, senza che ci sia una variazione di diametro rispetto a quello misurato con il calibro. Infatti se si utilizzasse un serbatoio rigido, magari munito di rubinetto, sarebbe il diametro del rubinetto a determinare la velocità del liquido nel condotto. Il dispositivo completo è illustrato in figura 2.

Si inserisce nel sacchetto un volume approssimativo di liquido (ma maggiore di quello che si vuole misurare), tenendo con una mano chiuso l'accesso al tubo. All'uscita del tubo si dispone un becher dove verrà raccolta una

certa quantità di liquido e si misurerà il tempo necessario affinché questo avvenga: ad esempio se si decide di misurare il tempo di uscita di 500 mL di liquido, serviranno almeno 800 mL di liquido nel sacchetto e due becher da 1000 mL, in cui venga tracciata una tacca corrispondente al volume di 500 mL, qualora non sia già presente.

Si apre il tubo con la mano in concomitanza della partenza del cronometro e si misura il tempo t necessario affinché il becher all'uscita si riempia del volume V , deciso in precedenza, quindi si aspetta che il tubo si sia svuotato e si procede ad una nuova misura. La prima misura del tempo t viene scartata per permettere al tubo di bagnarsi bene e simulare una sorta di stato stazionario. Per effettuare correttamente le misure, devono lavorare 2-3 persone attorno ad ogni dispositivo.

L'individuazione dell'istante in cui fermare il cronometro, soprattutto quando il liquido scende velocemente, è sicuramente la causa maggiore di errore sulla misura di portata: infatti è molto difficile individuare l'istante esatto in cui il liquido arriva alla tacca, soprattutto se il moto è di tipo turbolento, perché il liquido si muove nel becher in modo irregolare; inoltre la presenza di un'unica tacca non permette di valutare l'errore relativo sulla misura del volume.

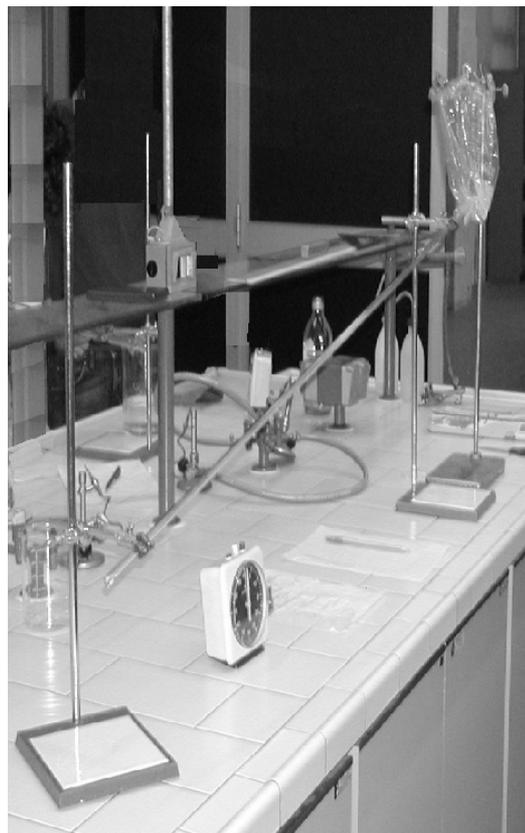


Figura 2: dispositivo per determinare la velocità dei fluidi.

Tuttavia lo scopo dell'esperimento è quello di determinare il tipo di moto e una precisione del numero di Reynolds anche solo alla seconda cifra significativa è utile, in quanto l'aspetto principale è arrivare al suo

ordine di grandezza. Abbiamo fatto qualche prova utilizzando, al posto del becher, un cilindro graduato, ma si sono presentati altri ostacoli quali la fuoriuscita di liquido dall'imboccatura con cilindri fino a 500 mL e la difficoltà a sistemare l'apparecchiatura sul banco per cilindri più grandi. Abbiamo quindi privilegiato la scelta di una misura agevole a scapito, probabilmente, della precisione.

Per osservare la variazione del moto al variare della velocità è sufficiente inclinare il tubo. Per fare sì che si mantengano comunque le stesse condizioni, ad ogni gruppo (che lavora con lo stesso tubo, ma con liquidi differenti) è bene assegnare due serie di misure per ogni tipo di liquido: una a tubo orizzontale (o inclinato solo di pochi gradi) ed una inclinata di un angolo definito (ad esempio di 30°, aiutandosi con una squadra). Il tempo necessario per effettuare le due serie di misure, dopo aver montato l'apparecchiatura, è di circa mezz'ora, ma si allunga con liquidi molto viscosi.

Elaborazione dei dati

Le misure dirette sono quelle relative al volume V , al diametro d , ai tempi t di fuoriuscita del volume V . La portata volumetrica Q_V del liquido in uscita viene calcolata utilizzando il tempo medio

$$Q_V = \frac{V}{t_{medio}}$$

Dalla portata volumetrica è possibile ricavare la sezione e quindi la velocità u , noto il diametro d

$$u = \frac{Q_V}{Sezione} = \frac{V \cdot 4}{t_{medio} \cdot \pi \cdot d^2}$$

In questo modo sono disponibili tutti i dati, conoscendo viscosità e densità dei liquidi utilizzati, che servono per determinare il numero di Reynolds Re .

Tutti questi calcoli sono stati inseriti in un foglio elettronico, costruito dagli studenti. Un particolare di questo foglio è indicato in figura 3. Questo foglio è stato costruito in modo da scrivere le misure dirette (nelle unità di misura con cui sono state effettuate, esempio mL, cm, ecc.), da evidenziare anche i calcoli parziali, e da visualizzare i dati specifici dei liquidi (viscosità e densità). Inoltre sono state effettuate le correzioni in modo tale da calcolare il numero di Reynolds con misure espresse nel sistema SI. L'ultima colonna del file, utilizzando la funzione logica SE, ha permesso di ottenere in automatico il tipo di moto (figura 3).

=SE(Q3>4000;"TURBOLENTO";SE(Q3>2000;"MISTO";"LAMINARE"))										
	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
4 DI RACCOLTA ED ELABORAZIONE DATI										
3	tempo uscita t4 (s)	tempo uscita t5 (s)	tempo uscita t6 (s)	tempo medio (s)	portata volumetrica (m ³ /s)	velocità media (m/s)	densità liquido (kg/m ³)	viscosità liquido (kg/ms)	Reynolds	tipo di moto
	12,0	9,0	9,0	9,5	5,3E-05	1,3E-01	1000	0,001005	2901	MISTO
	4,0	-	-	4,8	1,1E-04	2,5E-01	1000	0,001005	5801	TURBOLENTO
	-	-	-	29,0	1,7E-05	4,2E-01	1000	0,001005	3035	MISTO
	13,0	-	-	12,8	4,0E-05	9,7E-01	1000	0,001005	6972	TURBOLENTO
	-	-	-	7,0	7,1E-05	1,7E-01	789	0,0012	2601	MISTO
	3,0	-	-	3,0	1,7E-04	4,0E-01	789	0,0012	6069	TURBOLENTO

Figura 3: particolare del foglio elettronico, in cui è evidenziata l'indicazione in automatico del tipo di moto del fluido

Moto laminare o turbolento?

TABELLA DI RACCOLTA ED ELABORAZIONE DATI

tipo	liquido	diametro tubo (cm)	sezione (m ²)	volume liquido (ml)	tempo uscita t ₁ (s)	tempo uscita t ₂ (s)	tempo uscita t ₃ (s)	tempo uscita t ₄ (s)	tempo uscita t ₅ (s)	tempo medio (s)	Q _v (m ³ /s)	U (m/s)	d (kg/m ³)	μ (kg/ms)	Re	tipo di moto
tubo grosso orizzontale	acqua	2,300	4,153E-04	500	9,0	9,0	9,0	12,0	9,0	9,6	5,2E-05	1,3E-01	1000	0,001005	2870	MISTO
tubo grosso inclinato	acqua	2,300	4,153E-04	500	5,0	5,0	5,0	4,0	—	4,8	1,1E-04	2,5E-01	1000	0,001005	5801	TURBOLENTO
tubo sottile orizzontale	acqua	0,720	4,069E-05	500	29,0	29,0	29,0	—	—	29,0	1,7E-05	4,2E-01	1000	0,001005	3035	MISTO
tubo sottile inclinato	acqua	0,720	4,069E-05	500	13,0	12,0	12,5	13,0	—	12,6	4,0E-05	9,7E-01	1000	0,001005	6972	TURBOLENTO
tubo grosso orizzontale	alcool	2,300	4,153E-04	500	7,0	7,0	—	—	—	7,0	7,1E-05	1,7E-01	789	0,0012	2601	MISTO
tubo grosso inclinato	alcool	2,300	4,153E-04	500	3,0	3,0	3,0	3,0	—	3,0	1,7E-04	4,0E-01	789	0,0012	6069	TURBOLENTO
tubo sottile orizzontale	alcool	0,720	4,069E-05	500	34,0	34,5	34,0	33,5	—	34,0	1,5E-05	3,6E-01	789	0,0012	1711	LAMINARE
tubo sottile inclinato	alcool	0,720	4,069E-05	500	13,0	13,0	13,5	14,0	—	13,4	3,7E-05	9,2E-01	789	0,0012	4349	TURBOLENTO
tubo grosso orizzontale	olio	2,300	4,153E-04	100	62,0	47,0	52,0	67,0	41,0	54	1,9E-06	4,5E-03	911,4	0,03706	3	LAMINARE
tubo grosso inclinato	olio	2,300	4,153E-04	100	9,0	14,0	15,0	8,0	15,0	12	8,2E-06	2,0E-02	911,4	0,03706	11	LAMINARE
tubo sottile orizzontale	olio	0,720	4,069E-05	100	166,0	150,0	156,0	152,0	—	156	6,4E-07	1,6E-02	911,4	0,03706	3	LAMINARE
tubo sottile inclinato	olio	0,720	4,069E-05	100	32,0	31,5	33,0	37,0	—	33	3,0E-06	7,4E-02	911,4	0,03706	13	LAMINARE

Figura 4: tabella conclusiva dell'elaborazione dei dati ottenuta con il foglio elettronico

Conclusioni

Anche se in modo molto artigianale, abbiamo ottenuto lo scopo di permettere che i ragazzi potessero visualizzare il moto di un fluido, modificando di volta in volta le variabili in gioco. Inoltre la necessità di arginare le fuoriuscite di liquido, di coordinare i movimenti, di trovare soluzioni che non complicassero la situazione, ha stimolato le loro capacità di lavorare in gruppo e di

trovare soluzioni alternative. Ad esempio, siccome il tubo orizzontale dava molti problemi con i liquidi viscosi, uno studente ha suggerito di utilizzare una bolla da muratore e di prendere come riferimento per l'inclinazione minima una particolare posizione della bolla.

[1] S. Di Pietro, *Tecnologie chimiche industriali*, I, Hoepli, Milano, 1998, p. 54



Un piagetiano quasi pentito



Gentile collega, penso che la nostra corrispondenza abbia raggiunto un livello di familiarità tale da indurmi a farti una confidenza: dopo quasi trenta anni di “militanza piagetiana” mi dichiaro “piagetiano quasi pentito” e non si tratta di un’ammissione da poco dal momento che nella mia libreria fanno bella mostra di se una ventina di volumi di Piaget e della sua scuola oltre ad altri volumi di autori che alla sua scuola fanno riferimento: alcuni di questi volumi li ho letti per intero altri li ho frequentemente consultati.

Voglio anche chiarire, sperando che la cosa ti interessi, che questo mio ripensamento non è stato provocato dalle critiche, più viscerali che culturali e talvolta larvatamente malevoli, che mi sono state rivolte. Tali critiche nascono infatti dalla confusione delle idee e dalla non conoscenza delle teorie di Piaget.

Si è scambiato, ad esempio, il padroneggiamento delle operazioni intellettuali formali con la capacità di astrazione: come è noto, questa ultima è posseduta in larga misura anche dai bambini in tenera età, dal momento che usano molto precocemente linguaggio e simboli; molti anti-piagetiani non si sono resi conto che non esistono argomenti vietati sotto un certo livello di età e, come dice Bruner estremizzando un poco la questione, “è possibile insegnare qualsiasi argomento a qualsiasi bambino di qualsiasi età purché si trovi una forma onesta per farlo”. È chiaro che per alcuni argomenti di intrinseca complessità è difficile trovare la “forma onesta”. Molti anni fa ad esempio qualcuno tentò di introdurre il concetto di orbitale facendo costruire agli studenti degli orbitali intagliati nel polistirolo! Che cosa rimaneva in questo caso del concetto di orbitale? Qualche altro collega, preda di un complesso di onnipotenza, spiegò ai suoi allievi di scuola media (*sic!*) che cosa erano gli orbitali.

La connotazione “formale” non è mai riferita agli argomenti in sé ma è legata alle modalità operative con cui si affrontano gli argomenti; gli anti-piagetiani dell’ultima ora ignorano il significato dei *decalages*, non si rendono conto che le modalità concrete di operare a seconda delle difficoltà dell’argomento continuano ad essere utilizzate anche quando sono state acquisite le modalità formali, che i tempi dello sviluppo mentale non sono uguali per tutti gli individui. Ignorano quanto suggerisce Vigotskij sull’influenza dell’ambiente sociale e del linguaggio o ancora su quanto dice Bruner, che pure guarda a Piaget co-

me ad un maestro, sul ruolo che gioca l’empatia e l’attenzione condivisa nell’insegnamento.

A questo punto qualcuno mi potrebbe chiedere: perché ti sei quasi pentito? O meglio ancora, che cosa significa il tuo ripensamento?

Premesso che non ho mai badato più di tanto a certe critiche, ho viceversa riflettuto sui tentativi di utilizzazione nella prassi didattica delle teorie piagetiane (Aebli), su certi sviluppi delle teorie di Piaget (Ausubel) o ancora su certe applicazioni come il diagramma di Gowin e le mappe concettuali di Novak che si richiamano alle teorie del costruttivismo, di cui Piaget è stato il vessillifero.

Come ho detto più volte, ho riflettuto sul fatto che le teorie psicopedagogiche hanno carattere analitico mentre la messa a punto di strumenti e di atteggiamenti didattici hanno spesso carattere sintetico (creativo) in quanto poggiano sull’esperienza e sull’intuizione, derivare le seconde dalle prime non è immediato, le teorie psicopedagogiche fanno da sottofondo critico all’intuizione e alla creatività didattica, tanto è vero che quando Aebli si sforza di fornire dei suggerimenti didattici di natura operativa sembra smarrire la sua connotazione piagetiana.

Con buona pace di Bloom analisi e sintesi non sono immediatamente connesse tra di loro, tanto è vero che i tentativi fatti negli Stati Uniti di spiegare le difficoltà di apprendimento della chimica attraverso le teorie di Piaget (Herron) hanno incontrato delle difficoltà.

Non ho fatto studi sistematici di psicopedagogia ma ho la sensazione che le teorie psicopedagogiche sono più psicologiche che pedagogiche; in ogni caso gli insegnanti *advanced* non debbono atteggiarsi a pedagogisti dell’ultima ora, sfoggiando le varie teorie come se fossero vestiti alla moda salvo poi dismetterli al volgere della stagione.

Nonostante queste difficoltà alcuni insegnanti, volenterosi e capaci, cercano con encomiabile fatica di verificare quanto suggerito loro dall’esperienza e dall’intuizione alla luce delle varie teorie; il rischio è che tutto si risolva in un *collage* di vari segmenti concettuali ciascuno appoggiato ad una citazione bibliografica: una struttura scritta di un qualche valore ma formalmente molto precaria, una sorta di brutto *patchwork* sorretto da una bibliografia chilometrica, assolutamente inusuale per noi chimici.

Sia chiaro che non punto il dito contro nessuno: io stesso ho frequentato anche recentemente il girone dei pseudo-

pedagogisti, dal momento che i pedagogisti non volevano sporcarsi le mani con i contenuti disciplinari.

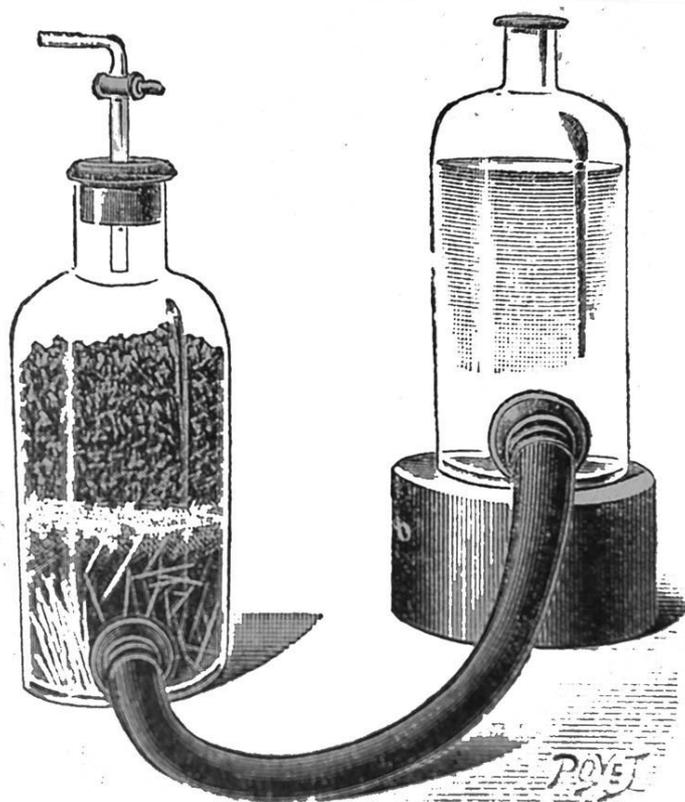
A conferma di tutto ciò vorrei richiamare quanto ho già avuto occasione di scrivere sulla presente rubrica cioè che in molte SSIS l'area 1, riferita alla psicopedagogia, non comunica con l'area 2 e l'area 3 riferite rispettivamente ai contenuti disciplinari e all'organizzazione didattica.

In mezzo si colloca la terra di nessuno, uno spazio vuoto che dovrebbe essere occupato dalla didattica disciplinare, intesa come costruzione di concetti disciplinari che tiene conto delle condizioni psicologiche della comunicazione e del fatto che i condizionamenti psicologici non sono indipendenti dalla natura dei contenuti.

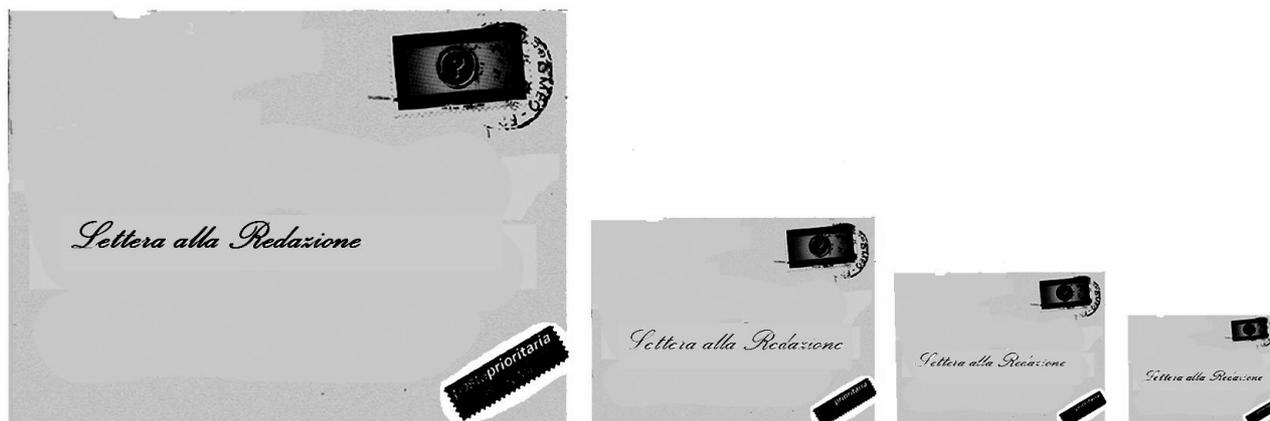
Queste sono le ragioni per le quali mi dichiaro "piagetiano quasi pentito". Tuttavia nonostante la stanchezza dovuta agli anni sto meditando sul da farsi.

Qualche insegnante particolarmente impegnato e di buona competenza continua tenacemente ad assemblare *patchworks*, facendo appello alla propria intuizione e alla propria esperienza professionale. Io al contrario ritengo dobbiamo fermarci a riflettere criticamente su quanto è stato fatto da tutti noi (soci della DD-SCI) negli ultimi trenta anni per poi avere il coraggio di ripartire.

Gentile collega, mi scuso per il tono un poco sconsolato della presente lettera. Non dispero di trovare le tue considerazioni e controdeduzioni nella rubrica "Lettere a CnS" e ti saluto amichevolmente.



Appareil pour la preparation continue de l'hydrogène



Riguardo al metodo di Cannizzaro

Leggo nell'ultimo numero di CnS (aprile-giugno 2007) l'interessante contributo di Giannoccaro e altri (pagg 70-77) sul metodo di Cannizzaro per la determinazione delle masse atomiche.

L'approccio storico alla didattica è sicuramente valido e sempre auspicabile, perché consente al discente di ripercorrere tutti i passaggi, sperimentali e speculativi, attraverso i quali si è pervenuto alle conoscenze consolidate, che così non risultano "calate dall'alto".

Proprio per questo, la ricostruzione storica deve essere corretta e completa, altrimenti rischia di non raggiungere le finalità che si prefigge.

A me pare che gli estensori del contributo in oggetto, pur avendo correttamente esposto il metodo di Cannizzaro, abbiano sorvolato su alcuni aspetti essenziali: il metodo si basa sulla conoscenza della composizione percentuale delle sostanze e delle loro masse molecolari. Quest'ultimo parametro, a tempi di Cannizzaro, era, per ciascuna sostanza, estremamente incerto e oggetto di accese e aspre diatribe, tanto che, per risolvere il problema, si tenne il primo Congresso internazionale di Chimica (Karlsruhe, 3-5 settembre 1860).

Il merito di Cannizzaro fu quello di aver rivalutato il principio di Avogadro (del quale nell'articolo non è riportato l'enunciato), enfatizzando le differenze tra atomo e molecola (allora niente affatto chiare), ma anche quello di aver determinato il corretto valore delle masse molecolari dal rapporto tra la densità delle sostanze gassose e quella dell'idrogeno, come riportato nell'artico-

lo, dove, però, non si chiarisce perché la densità relativa del vapor d'acqua (8,93) porti a un peso molecolare di 18 in tabella 3, pag 73. Quello che, invece, non è detto è che il colpo di genio di Cannizzaro fu l'aver posto eguale a due, anziché uno, la massa molecolare dell'idrogeno. Solo così si sono potuti ottenere i valori delle masse molecolari riportate nella IV colonna di tabella 3.

La scelta di attribuire massa molecolare 2 all'idrogeno non era arbitraria, ma si accordava con l'ipotesi della biatomicità della sua molecola (ipotesi questa violentemente contestata), come deducibile dalla legge dei volumi di Gay-Lussac e dal principio di Avogadro.

Entrambe queste leggi avrebbero potuto essere illustrate in maniera semplice e diretta, come nello spirito dell'articolo, quali premessa indispensabile alla messa in atto del metodo di Cannizzaro.

In conclusione, mi chiedo se, prendendo in considerazione questi fatti, gli autori non avrebbero reso meno parziale la ricostruzione storica e migliore l'efficacia didattica del percorso proposto.

Palermo, 11.09.2007

Roberto Zingales

Professore associato di Chimica Analitica Qualitativa
Dipartimento di Chimica Inorganica e Analitica *Stanislao Cannizzaro* - Università di Palermo.