



LA CHIMICA NELLA SCUOLA

Anno XXIX
Aprile - Giugno 2007

Direttore responsabile

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

Post-Editor

Paolo Mirone
e-mail: paolo.mirone@fastwebnet.it

Redattore

Pasquale Fetto
Via Carli Fussi, 9
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. 051450053 cell. 3280221343
e-mail: pasquale.fetto@didichim.org

Comitato di redazione

Liberato Cardellini, Marco Cizdi, 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 Michalon, Ezio Roletto

Editing

Documentazione Scientifica Editrice
Via Imenio, 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

Mannela 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

I propositi del nuovo presidente
di **Aldo Borsese** **55**

DALLA COPERTINA

Ettore Molinari
di **Francesca Turco** **57**

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Quattro isole sull'acqua - Un po' di chimica in una proposta
di continuità fra scuola secondaria di primo grado e di
secondo grado **59**
di **Elis Corradi, Rossana Zanoli**

ESPERIENZE E RICERCHE

Metodo di Cannizzaro per la determinazione delle masse
atomiche e sua verifica sperimentale con modelli
macroscopici **70**
di **Potenza Giannoccaro**

Per un insegnamento scientifico nella scuola di base che
favorisca il pensiero autonomo **78**
di **Aldo Borsese**

LA CHIMICA NELLE SISS

Chimica e biologia molecolare: due facce della stessa
medaglia - Parte III **82**
di **Alessandra Barbin**

DALLA DIVISIONE DIDATTICA

L'aggiornamento partecipato e la didattica laboratoriale.
Piano Nazionale Insegnare Scienze Sperimentali
Le motivazioni ed i valori: per contemplare le stelle senza
perdere l'equilibrio **91**
di **Tiziano Pera**

LA CHIMICA NELLA STORIA

Riscoprire uno storico enzima: l'amilasi **99**
di **Isabella D'Auria**

LABORATORIO E DINTORNI

Riscoprire uno storico enzima: l'amilasi **103**
di **Isabella Marini**

RUBRICHE

LETTERE AL LETTORE

Problemi vecchi e nuovi **111**
di **Ermanno Niccoli**

CONVEGNI E CONGRESSI

XV Convegno Nazionale della DDC - SCI **112**

Le figure esornative sono tratte dal testo: L. Troost et E. Péchard - *Traité Élémentaire de
Chimie* - Paris, Masson et C^{ie} Editeurs, 1910

I PROPOSITI DEL NUOVO PRESIDENTE

In attesa di definire, nell'ambito del nuovo direttivo, il calendario delle iniziative e delle attività della Divisione su cui verrete sistematicamente informati, in questo momento di avvio della mia "gestione" non posso che riproporre le riflessioni e le dichiarazioni di intenzione che ho presentato in occasione della mia candidatura alla presidenza.

Aggiungo solo un caldo invito alla collaborazione rivolto a tutti: sarò lieto di ricevere consigli, suggerimenti, critiche e vi assicuro il mio impegno.

La chimica è una scienza che sviluppa una maniera di pensare creativa e al tempo stesso disciplinata.

Ci aiuta a conoscere il mondo in cui viviamo, a comprenderlo. Il suo ruolo oggi è diventato così fondamentale che non è pensabile avere cittadini capaci di comprendere e intervenire sulla realtà, di partecipare in maniera attiva e responsabile ai problemi del mondo senza conoscerla. La formazione chimica rappresenta pertanto un elemento indispensabile della cultura dei cittadini di domani.

Purtroppo la consapevolezza di tutto questo è assente nella nostra società e la conseguenza di questa situazione è che pochissimi giovani si dedicano a studi nel settore chimico.

Per avvicinare i giovani ai corsi di laurea in chimica e in chimica industriale si stanno facendo grossi sforzi ma occorre comprendere che, se si vuole realizzare un cambiamento reale e non effimero nel loro atteggiamento verso la chimica, occorre agire in maniera scientifica.

Non è sufficiente, cioè, presentare gli aspetti spettacolari della nostra disciplina, affermare che la chimica offre la possibilità di collegare le sue leggi fondamentali e le loro applicazioni alla vita quotidiana, che i controlli chimici sono indispensabili per gli alimenti, per le acque, per i prodotti utilizzati in agricoltura, parlare di chimica forense, di chimica ambientale, di chimica e salute,....

Quello che rischia di derivare da questi interventi, se lo studente non possiede un sapere nel settore che gli venga dal paziente lavoro degli insegnanti a scuola, è una scelta inconsapevole determinata da una mitizzazione in positivo o in negativo di qualcosa che non conosce e di cui non ha potuto che costruirsi un'immagine distorta. L'interesse e la motivazione debbono essere fondati su conoscenze e non derivare da una mitizzazione delle professioni o delle immagini sociali che queste hanno.

Senza le necessarie caratterizzazioni disciplinari i giovani corrono il rischio di inseguire modelli ideali che non hanno riscontro reale.

Si diceva che occorre intervenire in maniera scientifica: fare in modo, cioè, che i giovani nella scuola abbiano insegnanti di chimica che privilegino la dimensione culturale di questa scienza e non quella istruzionale, che mettano al primo posto la riflessione, la dimensione metacognitiva.

Nonostante sia chiaro a tutti il valore decisivo assunto oggi dalla conoscenza scientifica (e chimica, in particolare) e dalla sue applicazioni, a scuola non si consente una scoperta progressiva di questo sapere. I concetti e i fenomeni presentati, sia per la loro natura sia per il modo con cui vengono proposti, non sono a misura degli allievi e si corre spesso il rischio che, proprio attraverso le Scienze, che dovrebbero essere deputate "costituzionalmente" a favorire la capacità di ragionare e di porsi domande, si sviluppa un abito mentale che vede la scuola come un luogo in cui occorre memorizzare e in cui non c'è spazio per una reale partecipazione attiva. In realtà, anche se inevitabilmente il nostro bagaglio culturale si arricchisce sia attraverso ciò che comprendiamo sia attraverso ciò che crediamo, occorrerebbe che, soprattutto nella scuola di base, tra il "capire" e il "credere" si privilegiasse il capire. Ciò favorirebbe lo sviluppo dello spirito critico e dell'autonomia cognitiva e consentirebbe, inoltre, la nascita di reale interesse verso la ricerca e la scoperta.

Si tratta di realizzare un cambiamento radicale nell'insegnamento della nostra disciplina e in questo la ricerca educativa in chimica, che è peraltro l'obiettivo per cui è nata la Divisione di Didattica Chimica, ha e deve avere un ruolo essenziale.

I propositi del nuovo presidente

Occorre rivalutarla, occorre che gli studi in questo settore vengano incentivati. E si cercherà di operare perché lo sforzo in questa direzione veda il coinvolgimento di un numero sempre maggiore di colleghi universitari. Alcuni di loro sono già impegnati nelle strutture per la formazione iniziale degli insegnanti ma occorre favorire l'evoluzione della loro sensibilità verso le problematiche educative in un impegno verso gli studi e le ricerche in questo settore.

Per quanto riguarda gli insegnanti in servizio degli altri livelli scolastici, alcuni sono già impegnati nella Divisione e nella ricerca educativa e hanno dato e stanno dando contributi importanti per il miglioramento dell'insegnamento della chimica nella scuola. E' indispensabile operare in modo che il loro numero cresca.

Occorre, inoltre, predisporre interventi sistematici e diffusi su tutto il territorio nazionale in modo da coinvolgere coloro che insegnano la nostra disciplina nei diversi livelli scolastici, renderli consapevoli dell'importanza del ruolo sociale che svolgono e sostenerli culturalmente.

Aldo Borsese

Ettore Molinari

Cremona, 1867- Milano, 1926

Ettore Molinari nacque a Cremona il 14 luglio 1867, da famiglia agiata. Iniziò gli studi presso la scuola enologica di Conegliano ma venne ben presto sospeso a causa dell'attività politica, inaugurando una lunga serie di soprusi subiti a causa delle idee anarchiche. La partecipazione di Molinari al movimento anarchico fu sempre piuttosto marginale, limitandosi a simpatie e riflessioni concretizzate in attività decisamente pacifiche quali la partecipazione a seminari, la scrittura di articoli e la corrispondenza con diversi compagni (Errico Malatesta, Jacques Gross, Pietro Kropotkin); tanto bastò tuttavia a farlo marchiare come "soggetto pericoloso", strettamente controllato, e a causare diverse disavventure professionali. Ma questo si evidenzierà più avanti: nel 1885 Molinari giovanetto dopo la sospensione dalla scuola si reca a Zurigo per studiare con Georg Lunge (1839-1923) al prestigioso Politecnico federale; in quest'impresa comincia a dare prova delle proprie straordinarie capacità: in soli sei mesi impara il tedesco e le nozioni scientifiche necessarie per essere ammesso alla sezione di chimica. A Zurigo Molinari ebbe come maestri Victor Meyer (1848-1897) e Frederick Pearson Treadwell (1857-1918), chimico analitico di origine statunitense. L'assistente preparatore di Treadwell era il neolaureato Roberto Lepetit (1865-1928), con il quale nacque una salda e duratura amicizia. Dopo il diploma al Politecnico nell'agosto 1888 Molinari si trasferì a Basilea; qui frequentò la facoltà di Filosofia laureandosi nel marzo 1889. Si recò dunque a Parigi dove si dedicò alla vendita di oggetti d'arte ereditati dalla famiglia, dimostrando anche in questo caso abilità ed eclettismo prodigiosi. Nel maggio 1889 sposò Elena Del Grossi, maestra elementare. L'anno successivo nacque figlia Amile (dal nome del composto organico). I viaggi di istruzione continuarono con tappe a Londra, dove lavorò come enologo presso i magazzini Dogliani per la seconda metà del 1890, e ad Heidelberg dove fu assistente volontario agli *Städtisches Laboratorium*. Tornò in Italia alla fine del 1891 inaugurando immediatamente l'infinita serie di vessazioni burocratiche che ne ostacolarono, a fasi alterne, la carriera: la sottoprefettura di Verolanuova (Brescia) gli negò il diritto a sostenere l'esame per perito chimico igienista, in quanto in possesso di soli titoli stranieri. Nel 1892 divenne assistente di chimica inorganica alla Regia Scuola Superiore di Agricoltura di Milano, dove rimase fino alla fine del 1893. L'anno seguente fu particolarmente duro: morì la figlia Amile, di soli quattro anni (i dettagli della vita familiare di Molinari sono poco noti, è certo che ebbe almeno altri quattro figli: Henry, a sua volta valente chimico e socialista molto attivo, Vittorio, Alessandro e Libero) e iniziò il tormento da parte dell'ordine pubblico con la schedatura quale "anarchico pericolosissimo" da parte della prefettura di Milano, su segnalazione di quella



Ettore Molinari

di Brescia. Come sottolinea Luigi Cernuti, l'argomentazione implicita nelle note delle prefetture è disarmante, fra le altre cose si legge: "è di carattere piuttosto vivace e istruito colto ed intelligente", "Il Molinari nei riguardi della sua condotta morale ben poca fama riscuote nella pubblica opinione sebbene ami l'occupazione ed il lavoro dal quale trae sostentamento". Rapporti e segnalazioni, nonché una fastidiosissima sorveglianza, proseguirono costantemente per oltre 25 anni, non senza alcune espressioni di insofferenza da parte del sorvegliato. A questa epoca dolorosa risale la decisione, presa per necessità economica ma che diede anche seguito all'antica passione per la chimica applicata, di impiegarsi nell'industria. La prima produzione cui si dedicò fu quella tessile presso il Lanificio Rossi di Schio, dove fu Direttore chimico dal 1895 al 1901. Col nuovo secolo si riaprì la prospettiva di insegnare, vinse infatti l'incarico di Direttore della Scuola di Chimica presso la Società di Incoraggiamento di Milano, che mantenne per 15 anni. Qui affrontò lo studio della reattività dell'ozono sui composti insaturi che segnarono l'inizio dell'interessamento verso oli e grassi, interesse e competenze che si concretizzarono nella direzione della neonata Scuola di saponeria, nel 1906. Molinari affrontò un secondo argomento di ricerca, gli esplosivi, che ebbe una ricaduta produttiva particolarmente robusta. Nel 1915, come ci informano le note delle prefetture ("Questura Genova informata"), Molinari si trasferì a Cengio con l'incarico di direzione dello stabilimento della S.I.P.E. Il momento e il luogo non potevano essere meno adatti alle inclinazioni di un "pericolosissimo anarchico" di idee pacifiste, che riuscì però, pur con afflizione, ad ammodernare la produzione dello

stabilimento dal quale uscirono la metà degli esplosivi utilizzati dall'Italia durante la Grande Guerra. Vale la pena di impiegare qualche altra riga per profilare l'ambigua e sicuramente dolorosa posizione del nostro chimico al riguardo della guerra in generale e a quella guerra in particolare. Pacifista e dunque neutralista per profonda convinzione politica e morale dopo l'ingresso attivo dell'Italia nel conflitto aderì con grande energia allo sforzo produttivo richiesto all'industria chimica per sostenere un paese in guerra, necessità che, piuttosto tristemente, fu all'origine dei poderosi progressi dell'industria chimica italiana. Questi progressi erano da tempo alla portata della nostra industria e necessari (e dunque doverosi) ma non avevano avuto luogo in tempo di pace, a causa della trascuratezza e dell'incompetenza scientifica dei governi e degli industriali stessi, come Molinari e altri chimici illuminati, quali Cannizzaro e Nasini, avevano sostenuto a più riprese. Anche durante il conflitto Molinari non rinunciò a rendere pubblica la propria radicata posizione: nel 1917 apparve sulle pagine degli *Annali di Chimica Applicata* un saggio che è un grido di dolore per il basso profilo morale, tecnico e imprenditoriale dell'"umana compagine" che "nella sua coscienza e nelle sue ideologie è rimasta assai in arretrato, tanto da subire con strano entusiasmo l'onta di una guerra per rendersi conto delle gravi manchevolezze scientifiche, tecniche e sociali che insidiavano la via del suo progresso e per comprendere i propri errori e le proprie inferiorità". E pure, lo ripetiamo ancora, nonostante questa ferma posizione Molinari non risparmiò il proprio impegno in qualità di esperto chimico industriale e di direttore della più importante fabbrica di esplosivi della Nazione.

L'inevitabile impegno a favore della Patria non contribuì evidentemente a rendere meno travagliata la vicenda della nomina a Professore: nel 1916 a Molinari fu conferito l'insegnamento di Chimica tecnologica all'Istituto Tecnico Superiore di Milano e nel 1918 fu avviata la procedura per nominarlo Professore straordinario. La partenza fu rapida grazie a un regolamento che prevedeva la possibilità della nomina per benemerite evitando le lungaggini del concorso, ma proprio su questo punto il Consiglio dei professori si divise fra quanti volevano - pretestuosamente - far espletare comunque il concorso e quanti riconoscendo la lunga esperienza e la indiscutibile competenza del candidato riuscirono infine a far deliberare in favore della nomina diretta. Ma fu lo stesso Consiglio a essere giudicato incompetente dal Ministero che avrebbe dovuto ratificare la decisione e che nominò invece una Commissione speciale (Giacomo Ciamician, Giuseppe Bruni, Felice Garelli, Arturo Miolati e Mario Giacomo Levi) per valutarne l'operato e rivalutare il candidato. La commissione si esprime in modo unanime a favore del precedente giudizio del Consiglio e del candidato, nel gennaio 1920. La procedura si concluse solo nell'anno Accademico 1924-25 con la stabilizzazione della nomina a Straordinario: il 9 novembre 1926, dopo un solo anno, Molinari morì a causa di un attacco di angina pectoris. Molinari seppe conciliare mirabilmente l'impegno della produzione industriale con l'insegnamento, inteso in modo

ampio come educazione, anche popolare. Durante gli anni trascorsi alla Società di Incoraggiamento tenne lezioni pubbliche serali, fu collaboratore della rivista *Scienza per tutti* e la sua ultima grande impresa fu l'avviamento dell'Istituto di perfezionamento in chimica industriale "Giuliana Ronzoni", che aveva l'esplicito obiettivo di perfezionare i laureati in chimica nelle concrete applicazioni industriali. Infine è doveroso ricordare il grande *Trattato di chimica generale ed applicata all'industria*, edito da Hoepli nel 1905 e 1908 (sezione di chimica inorganica ed organica rispettivamente). Entrambe le parti furono riedite, aggiornate, numerose volte e tradotte nelle principali lingue europee della scienza (inglese, tedesco e francese, e inoltre in spagnolo). Anche in quest'occasione Molinari seppe, quasi unico nella storia del nostro Paese, coniugare scienza, tecnologia ed educazione sociale: la lettura delle prefazioni alle varie edizioni del Trattato restituisce un profilo umano e professionale ricchissimo: "Oggi bisogna conoscere, almeno nei tratti generali e più salienti, il meraviglioso e geniale procedimento che permette di passare rapidamente dalle concezioni teoriche più astratte alle applicazioni pratiche più importanti.", "Cogli ordinari libri di testo, difficilmente lo studioso può formarsi un concetto della maggiore o minore importanza di un composto in confronto di un altro; molti per esempio, non sanno se l'anidride arseniosa abbia altre applicazioni dopo quella della distruzione dei topi o dell'altra più tragica che risolve intricati problemi passionali". "Ho indicato per ogni composto il prezzo commerciale, [...] solo a titolo di orientazione, perché sovente non si sa se un metro cubo di ossigeno costi 20 centesimi o 5 lire, e se costi più l'ammoniaca o l'acido nitrico, il rame o l'alluminio o il nichel" (1904) e la più celebre del 1917: "Quando tutti i popoli, che pagano col loro sangue le follie criminose delle classi dominanti, non si lasceranno più ingannare dalle attraenti vernici idealiste con cui si mascherano i veri e reconditi scopi di ogni guerra, allora la Chimica cesserà di essere strumento di barbarie e tutta la sua meravigliosa attività sarà indirizzata ad accrescere il benessere materiale ed intellettuale degli uomini di tutto il mondo, senza distinzione di nazionalità e di razza".

Dalle parole e dal percorso professionale e umano di Molinari emerge una straordinaria passione, sociale e scientifica, che sfociò a volte in contraddizioni, tuttavia composte in qualche misura dalla fede nel progresso. Sostanzialmente in compagnia del solo Natta - Molinari fu fra i pochissimi chimici del nostro paese a saper coniugare ricerca, creazione di una scuola e produzione materiale. Anarchico appassionato, profuse un grandissimo impegno per lo sviluppo economico e industriale del Paese, paradosso brillantemente riepilogato nella definizione coniata da Cerruti: un pericolosissimo anarchico al servizio della Nazione.

Per chi volesse approfondire: L. Cerruti "La comunità dei chimici italiani nel contesto scientifico internazionale: 1890-1940", in *Una difficile modernità*, A. Casella, A. Ferraresi, G. Giuliani, E. Signori (a cura di), Pavia: La Goliardica Pavese, 2000, pp. 197-255.

Quattro isole sull'acqua

Un po' di chimica in una proposta di continuità fra scuola secondaria di primo e di secondo grado

ELIS CORRADI¹ - ROSSANA ZANOLI²

¹ITIS "F.Corni" di Modena
²ITIS "F.Corni" di Modena - SSIS Emilia Romagna (Modena)
 elis.corradi@fastwebnet.it
 rzanoli@interfree.it

Riassunto

Questo lavoro presenta una proposta di attività di laboratorio di chimica condotta all'interno di un Istituto Secondario di secondo grado e rivolta a studenti delle scuole secondarie di primo grado. Dal punto di vista didattico si associano metodologie di tutoring esperto e di apprendimento cooperativo; nello specifico si sperimenta il modello del learning together.

Una parte predominante dell'esperienza è dedicata alla predisposizione dei materiali di supporto che accompagnano e guidano la fase sperimentale e alla valutazione della loro fruibilità da parte degli utenti. In particolare il linguaggio utilizzato nelle schede di laboratorio fornite agli studenti è stato sottoposto all'analisi del software "eulogos censor" e in alcune parti successivamente revisionato per adeguare la leggibilità al contesto specifico.

Le schede sono disponibili per il download in formato PDF sul sito dell'istituto (www.itiscorni.it).

Introduzione

E' ormai divenuta consuetudine per le scuole secondarie di secondo grado organizzare iniziative di orientamento e continuità rivolte alle scuole di primo grado del territorio di utenza; in questo caso ci sentiamo di smentire con fermezza finalità puramente promozionali, in quanto le attività proposte sono state pensate e ideate per offrire ai docenti di questo livello di scuola piccoli segmenti didattici autonomi, che diano un'idea del modo di condurre esperienze di educazione scientifica. E' ovvio che nelle scuole secondarie di secondo grado la disponibilità di materiali, spazi attrezzati e personale tecnico ci permettono di condurre esperimenti più complessi rispetto a quelli ai quali gli studenti delle secondarie di primo grado sono abituati nelle loro realtà. Le proposte comunque sono state appositamente "tarate" per studenti di questo livello di scuola e generalmente costituiscono un approfondimento di argomenti già trattati in classe. Il livello di formalizzazione utilizzato è volutamente molto limitato, proprio per adeguarci allo sviluppo cognitivo di studenti di questa età e per poterci rivolgere a gruppi

classe che non conosciamo. Spesso, in realtà, questi studenti hanno dimostrato di avere affrontato la chimica ad un livello più astratto, esibendo conoscenze di contenuti anche complessi, che poi faticano a comprendere e mettere in relazione con i fenomeni del mondo reale.

L'offerta didattica relativa alla chimica che viene presentata ogni anno agli insegnanti delle scuole secondarie di primo grado della nostra città è limitata ad alcuni argomenti che riteniamo particolarmente significativi e viene periodicamente ampliata, a volte su richiesta delle scuole stesse. L'organizzazione operativa prevede che un'intera classe di scuola media partecipi all'attività insieme ai propri docenti presso il nostro istituto nel consueto orario di lezione; qui alcuni studenti del triennio accolgono i ragazzi, li attrezzano con camice, guanti e occhiali di protezione e li accompagnano nei laboratori dove si svolgono gli esperimenti.

Abbiamo avviato questo progetto di continuità anche con l'obiettivo di rendere protagonisti i nostri studenti, infatti le esperienze di tutoraggio che vengono condotte in queste attività arricchiscono sicuramente il "tutor", sviluppando le sue abilità di organizzare, gestire e comunicare, e favoriscono il consolidamento delle conoscenze. Dall'anno scolastico 2004/05 abbiamo sperimentato una nuova metodologia, che associa l'esperienza di cross-age tutoring alla modalità del learning together: nella serie di esperienze che riportiamo, infatti, abbiamo suddiviso la classe in quattro gruppi, ognuno dei quali si occupa di approfondire un diverso aspetto di un tema comune. Nel nostro caso il lavoro è stato fatto sull'acqua, tema di fondamentale importanza scientifica, che offre diverse possibili vie d'approccio.

Il lavoro dei gruppi dovrà necessariamente proseguire presso la scuola media, dove, nelle lezioni dei giorni seguenti, ogni gruppo di studenti potrà riferire sulle attività svolte e rendere disponibili a tutti le conoscenze acquisite. Purtroppo non abbiamo avuto la possibilità di controllare questa fase conclusiva in modo da avere un ritorno dell'attività condotta e in futuro studieremo il modo per poter valutare l'efficacia del nostro intervento attraverso un prodotto finale.

Descrizione delle attività di laboratorio

L'attività che abbiamo proposto si intitola "Quattro isole sull'acqua", dove ogni isola è uno dei nostri banchi di laboratorio, sul quale "approdano" gli studenti di un gruppo per eseguire, insieme agli "istruttori anziani" alcuni esperimenti.

I quattro aspetti affrontati riguardano:

ISOLA N°1 - una sola parola, tanti materiali...

Diverse osservazioni per scoprire che soltanto una di quelle che conosciamo è veramente l'acqua, mentre tutte le altre sono soluzioni. Si affronta il nodo concettuale di miscuglio e sostanza, proponendo agli studenti le esperienze della evaporazione per individuare il residuo, della distillazione con l'analisi dell'apparecchiatura per distillare, della conducibilità di acqua distillata e di soluzioni inserendole in serie in un circuito elettrico.

ISOLA N°2 - bere o non bere?

Si introduce il carattere "analitico" della chimica per indagare sulla potabilità dell'acqua. Viene effettuata una analisi quantitativa volumetrica di uno dei parametri chimici (i cloruri) analizzando la strumentazione utilizzata per le titolazioni e viene controllato anche l'aspetto microbiologico attraverso una filtrazione in ambiente sterile e la successiva coltura in ambiente tempestato.

ISOLA N°3 - acqua: un composto per l'energia del vostro futuro.

Si scompone l'acqua nei suoi elementi utilizzando il voltmetro di Hoffman; viene affrontato quindi il nodo concettuale della differenza tra i composti e gli elementi chimici introducendo anche una semplice modellizzazione molecolare (su questo tipo di formalizzazione ci sentiamo di esprimere qualche perplessità, ma nella esperienza comune verificiamo la necessità di un controllo degli input già ricevuti dagli studenti sia in ambiente scolastico che extrascolastico; per questo riteniamo ragionevole una proposta di questo tipo). Si arriva dunque a parlare dell'idrogeno come fonte di energia nelle fuel-cell fornendone un piccolo esempio con un modellino didattico di automobile che utilizza l'acqua come carburante.

ISOLA N°4 - il calcio nell'acqua è uno sport duro.

Si introduce il significato di durezza dell'acqua, attraverso esempi molto comuni di depositi calcarei, e si eseguono alcune titolazioni con EDTA per determinare e confrontare la durezza di diversi campioni di acqua; si propone l'esempio degli addolcitori e si verifica la loro funzione determinando la durezza dell'acqua di rubinetto prima e dopo averla messa a contatto con una resina a scambio ionico. Si discutono poi alcuni luoghi comuni sulla durezza dell'acqua utilizzata per l'alimentazione umana.

LE SCHEDE DIDATTICHE SONO RIPORTATE IN APPENDICE

Al termine delle esperienze gli alunni passano al "tavolo di degustazione" nel quale possono assaggiare diversi campioni di acqua potabile senza poter vedere le etichette e danno un giudizio personale di ciascuna, per scoprire se la gradevolezza dell'acqua dipende dalla marca e dal costo del prodotto e, senza saperlo, confrontano vari cam-

pioni di acqua minerale con acqua di acquedotto.

La scheda che compilano riserva abitualmente non poche sorprese e costituisce la base per una successiva discussione in classe.

Modalità operative

Il lavoro di preparazione delle attività di laboratorio è stato condotto insieme agli studenti del triennio delle sezioni del liceo scientifico tecnologico e della sezione F.A.S.E., che hanno testato gli esperimenti apportando in qualche caso modifiche, in modo da renderli di più semplice comprensione e di facile applicazione.

Sono stati individuati per ogni isola gli esperimenti nei quali gli studenti ospiti possono lavorare attivamente sotto la guida degli "esperti" più grandi e quelli che invece i tutor condurranno in modo dimostrativo.

Questo lavoro preliminare con i nostri studenti è stato introdotto nella programmazione curricolare in quanto si propone il raggiungimento di importanti obiettivi formativi e disciplinari e ha coinvolto tutto il gruppo classe. Per la fase operativa sono stati scelti, tra coloro che hanno dato la loro disponibilità, due tutor per ogni isola. Le scelte sono state operate prevalentemente con l'intento di coinvolgere gli studenti meno motivati, responsabilizzandoli in questa attività, piuttosto che di "premiare" i nostri studenti migliori.

Analisi dei materiali didattici proposti

Abbiamo predisposto le schede guida per gli esperimenti con particolare attenzione alla scelta dei contenuti e del linguaggio da utilizzare, per renderle uno strumento facilmente fruibile dai ragazzi, se pur con l'aiuto degli studenti più grandi e dei docenti. Per verificare questo aspetto le schede preparate sono state sottoposte ad analisi di leggibilità del testo utilizzando un software che ha fornito i seguenti dati riassuntivi. (Tabella 1)

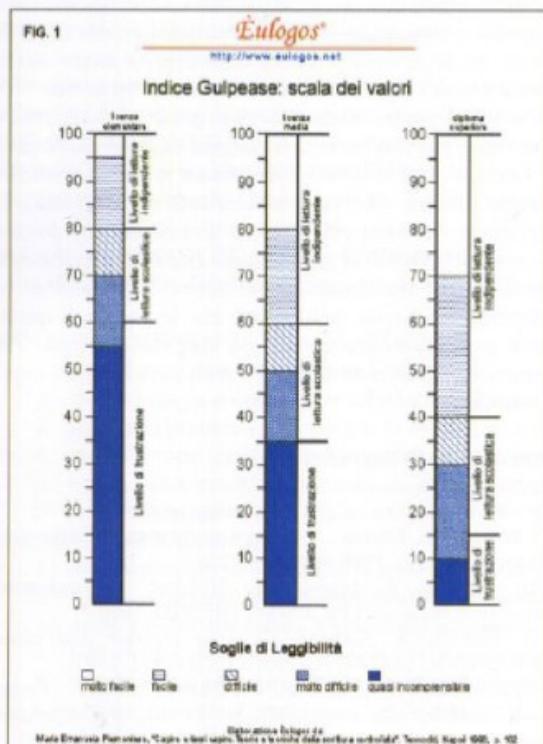
Inoltre il Confronto del testo con il Vocabolario di Base e l'indice GULPEASE delle singole frasi fornito dal software consentono una puntuale analisi del testo in funzione della sua leggibilità e permettono di farne una revisione in questa ottica. Basandoci sulla tabella di leggibilità in base all'indice GULPEASE pensiamo che per una classe terza della scuola secondaria di primo grado possa essere ottimale un indice compreso tra 55 e 60, anche in considerazione che, essendo un'attività di tipo scolastico, è richiesto l'uso di un linguaggio specifico nel quale i termini non sono sempre sostituibili con altri appartenenti al vocabolario di base. Inoltre le schede vengono utilizzate esclusivamente in situazione guidata. Riteniamo anche che la comprensione del testo in questione venga facilitata dalle numerose illustrazioni delle schede, cosa che il software di analisi non può considerare in alcun modo.

In base a quanto esposto e secondo i suggerimenti forniti dai dati dell'analisi, abbiamo deciso di revisionare le schede nel tentativo di migliorare la leggibilità complessiva e di uniformare il grado di difficoltà.

Tabella 1

Leggibilità GULPEASE e Vocabolario di Base rilevati con Èulogos CENSOR
www.eulogos.net/censor

<i>parte introduttiva</i>	<i>scheda 1^a isola:</i>	<i>scheda 2^a isola:</i>	<i>scheda 3^a isola:</i>	<i>scheda 4^a isola:</i>
Totale parole: 475	Totale parole: 418	Totale parole: 638	Totale parole: 558	Totale parole: 507
Parole diverse: 257	Parole diverse: 221	Parole diverse: 313	Parole diverse: 274	Parole diverse: 252
Rapporto Totale parole/Parole diverse: 1,85	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 1,89	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 2,04	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 2,04	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 2,01
Totale frasi: 26	Totale frasi: 26	Totale frasi: 25	Totale frasi: 31	Totale frasi: 41
Indice Gulpease: 53,61	Indice Gulpease: 56,30	Indice Gulpease: 46,76	Indice Gulpease: 53,05	Indice Gulpease: 61,78
Lunghezza media delle frasi: 18,27 parole	Lunghezza media delle frasi: 16,08 parole	Lunghezza media delle frasi: 25,52 parole	Lunghezza media delle frasi: 18,00 parole	Lunghezza media delle frasi: 12,37 parole
Lunghezza media delle parole: 5,22 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,18 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,43 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,31 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,20 lettere
Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 29 (06,11% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 36 (08,61% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 103 (16,14% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 47 (08,42% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 71 (14,00% delle parole del testo)



In particolare nella parte introduttiva e nella scheda della 3^a isola si è lavorato in modo da ridurre la lunghezza media delle frasi e nella scheda della 2^a isola si è cercato di ridurre anche il numero di termini non riconducibili al vocabolario di base, modificando soprattutto le forme verbali utilizzate. La scheda della 4^a isola è stata leggermente modificata aggiungendo qualche spiegazione in più con l'intento di rendere più comprensibili le molte parole non riconducibili al vocabolario di base. In tutte le schede si è inoltre tentato di aumentare il valore del rapporto Parole parole diverse.

Abbiamo quindi sottoposto i testi delle nuove schede all'analisi del software ottenendo i seguenti risultati.

Tabella 2.

Tabella 2

<i>parte introduttiva riscritta:</i>	<i>scheda 1^a isola riscritta:</i>	<i>scheda 2^o isola riscritta:</i>	<i>scheda 3^o isola riscritta:</i>	<i>scheda 4^a isola riscritta:</i>
Totale parole: 468	Totale parole: 405	Totale parole: 711	Totale parole: 611	Totale parole: 530
Parole diverse: 255	Parole diverse: 213	Parole diverse: 324	Parole diverse: 296	Parole diverse: 258
Rapporto Totale parole/Parole diverse: 1,84	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 1,90	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 2,18	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 2,60	Rapporto Totale parole/Parole diverse: 2,40
Totale frasi: 28	Totale frasi: 24	Totale frasi: 38	Totale frasi: 36	Totale frasi: 41
Indice Gulpease: 56,39	Indice Gulpease: 55,27	Indice Gulpease: 53,59	Indice Gulpease: 54,34	Indice Gulpease: 60,17
Lunghezza media delle frasi: 16,71 parole	Lunghezza media delle frasi: 16,87 parole	Lunghezza media delle frasi: 18,71 parole	Lunghezza media delle frasi: 16,96 parole	Lunghezza media delle frasi: 12,92 parole
Lunghezza media delle parole: 5,10 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,20 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,17 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,28 lettere	Lunghezza media delle parole: 5,25 lettere
Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 14 (02,99% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 33 (08,15% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 67 (09,42% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 40 (06,55% delle parole del testo)	Parole non riconducibili al Vocabolario di base: 72 (13,58% delle parole del testo)

Riteniamo dunque di avere modificato le schede ottenendo come risultato testi più fruibili da parte degli studenti e raggiungendo una maggiore uniformità nella leggibilità del testo, anche se appare evidente un indice leggermente maggiore di difficoltà per quanto riguarda la scheda n.2, dove il testo, il numero totale di parole e la lunghezza media delle frasi sono maggiori che nelle altre 3 schede, ma il valore elevato del rapporto parole/parole diverse indica che alcune parole non riconducibili al vocabolario di base sono spesso ripetute (in questa scheda i termini cloruri e batteri, ad esempio, vengono ripetuti rispettivamente 12 e 6 volte e non è possibile sostituirli con altre parole) e comunque, nel complesso, riteniamo che la leggibilità sia paragonabile a quella delle altre schede.

Conclusioni

L'aspetto della leggibilità di un testo di carattere scientifico è estremamente importante, a nostro avviso, per rendere efficace e significativa una proposta didattica. Il testo scientifico dovrebbe infatti essere il più possibile schematico, lineare, senza involuzioni linguistiche e accompagnato da disegni o fotografie non devianti, che portino lo studente a fissare contenuti e concetti. Il software di valutazione del testo che abbiamo sperimentato ci è sembrato di semplice e veloce utilizzo e offre, oltre ai dati in sintesi che abbiamo riportato, un'analisi puntuale di ogni paragrafo, che permette revisioni veloci e finalizzate a obiettivi specifici. L'indice di leggibilità complessivo Gulpease non è in grado però di considerare l'apparato grafico e iconico dei materiali esaminati, che invece riteniamo essere fondamentale in un testo scolastico di tipo scientifico; pertanto ci sembra riduttivo attribuirgli un valore assoluto. I risultati ottenuti in questa esperienza sono stati nel complesso soddisfacenti, sia per il gradimento che gli

studenti della secondaria di primo grado e i loro docenti hanno dimostrato verso la nostra proposta, sia per quanto riguarda gli obiettivi raggiunti dai nostri studenti. In particolare alcuni di loro, poco collaborativi nel comune contesto scolastico, si sono rivelati sorprendentemente coinvolti e responsabili nel rivestire questo ruolo di guida per gli studenti "più piccoli", dimostrando anche buona autonomia nella gestione delle attività di laboratorio.

Le schede guida, elaborate per questi esperimenti e modificate per migliorarne la leggibilità, sono disponibili in formato PDF sul sito dell'istituto www.itiscorni.it e possono essere liberamente scaricate e stampate. Ci auguriamo che vengano lette e utilizzate da altri docenti in contesti diversi e gradiremmo ricevere commenti e pareri, che ci consentano di valutarne l'efficacia su un campione più ampio, nell'intento che le pagine di questa rivista possano essere sempre più luogo di confronto e di scambio di esperienze didattiche realizzate in tutti i livelli di scuola.

Riferimenti Bibliografici

<http://www.eulogos.net>
<http://www.education.tas.gov.au/learningtogether/>
 - D. Pavan, P.G. Ellerani, *Sperimentare il cooperative learning nella scuola media*. 1998 www.scintille.it
 - D. Johnson, R. Johnson, E. Holubec, *Apprendimento cooperativo in classe*. ERICKSON, TRENTO, 1996.
 - D. Johnson, R. Johnson, *Learning together and alone*. ENGLEWOOD CLIFFS, NJ: PRENTICE-HALL 1987
 - P.Scorzoni, P.G.Ellerani, D.Pavan, ISRE Rivista Quadrimestrale, n.2, anno 1997, pp 93-101, *Il Cooperative learning "made in Italy"*
 - S.Comoglio, M.A.Cardoso, *Insegnare e apprendere in gruppo*, LAS, ROMA, 1996
 - K.Topping, *Tutoring*, ERIKSON, TRENTO 1997

APPENDICE

Parte Introduttiva

4 ISOLE PER CAPIRE L'ACQUA

OBIETTIVO: in questa esperienza vogliamo capire cosa sia l'acqua dal punto di vista scientifico e quante siano le "acque" di cui parliamo.

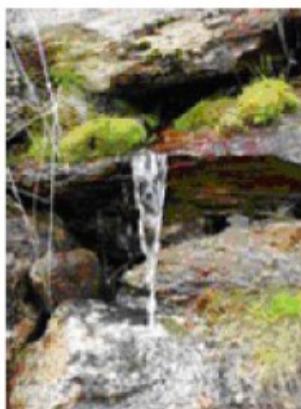
Quante volte avrai letto e parlato di acqua: l'acqua inquinata, risparmiare acqua, la bolletta dell'acqua...

quante volte avrai utilizzato l'acqua: per bere, per cucinare, per lavarti, per pulire oggetti...

quante volte avrai ammirato l'acqua nei paesaggi che la natura ci offre:



la distesa del mare



un ruscello di montagna



l'aspetto minaccioso delle nubi che precedono un temporale...

Ebbene, ora stai per fare alcune esperienze che ti porteranno a capire cosa è l'acqua e quante sono le acque di cui parliamo. Perché questo materiale è così importante per la vita sulla terra e per l'uomo in particolare? Quanto è fondamentale il risparmio di questa risorsa per la sopravvivenza del nostro pianeta?

Il percorso è suddiviso in quattro zone diverse del laboratorio di chimica, che abbiamo chiamato "isole". In ognuna delle isole si possono condurre differenti esperienze relative all'acqua.

Per motivi di tempo e di spazio ognuno di voi "approderà" su un'isola e diventerà un "esperto" delle esperienze che ha fatto: alcuni studenti più "anziani" vi aiuteranno a fare gli esperimenti e a completare le schede a vostra disposizione.

Una volta tornati a scuola potrete condividere con i compagni quello che avete imparato e avere quindi una visione più completa dell'argomento affrontato. Potrete inoltre integrare il nostro percorso con altri aspetti relativi all'acqua.

PRIMA DI PASSARE AGLI ESPERIMENTI è necessario stabilire COME CI SI COMPORTA IN LABORATORIO; dobbiamo garantire la SICUREZZA DI TUTTI e usare correttamente materiali e strumenti.

COMPORTEMENTO IN LABORATORIO

1. non si corre e non si spingono i compagni
2. non si mangia e non si beve all'interno del laboratorio
3. mentre si portano i recipienti si fa attenzione a non urtare i compagni
4. se viene rotto qualcosa in laboratorio si deve avvisare l'insegnante
5. non si gioca e non si spruzzano i compagni nemmeno con l'acqua
6. si parla a bassa voce

NORME DI SICUREZZA:

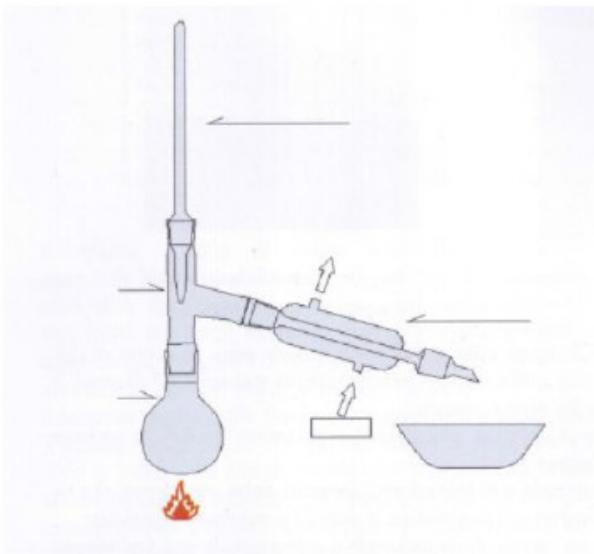
1. avvisare subito se si portano le lenti a contatto
2. indossare sempre le protezioni (camice, occhiali, guanti)
3. ascoltare con attenzione le istruzioni su come si usano le sostanze e sui possibili rischi dell'esperimento
4. fare attenzione quando si versano le soluzioni, in modo da non schizzare se stessi o i compagni;
5. prendere una soluzione alla volta e sul banco tenere le provette nel porta provette;
6. evitare di toccare le soluzioni con le mani;
7. al termine dell'esperienza mettere i recipienti sotto cappa senza vuotare il contenuto;
8. MAI buttare nulla nello scarico del lavello senza essere autorizzati dall'insegnante;
9. al termine dell'esperienza lavarsi SEMPRE le mani.
10. qualunque incidente DEVE essere subito riferito all'insegnante.

Quattro isole sull'acqua

Cosa osservi?

Possiamo certamente concludere che i materiali che abbiamo fatto evaporare non erano soltanto acqua: quello che resta dopo aver fatto evaporare l'acqua si chiama **RESIDUO** ed è significativo per classificare i diversi tipi di acqua.

Tra i diversi tipi di acqua considerati, quello che ha evidenziato un residuo quasi inesistente è l'acqua piovana: tra questi è quella che può essere più verosimilmente chiamata acqua "pura". Il ciclo dell'acqua in natura infatti opera come un apparecchio distillatore: osserva l'apparecchio per distillare che trovi sul banco e scrivi il nome dei pezzi che lo compongono:



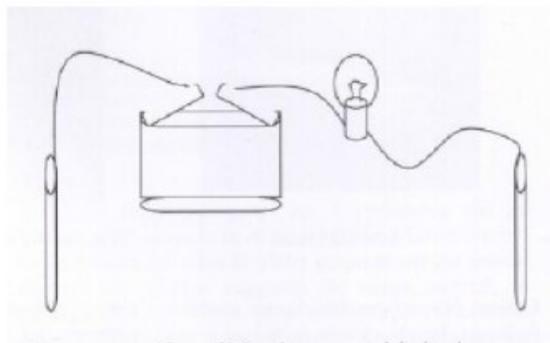
dopo aver distillato una certa quantità di acqua ripeti l'esperienza precedente e falla evaporare completamente.

Cosa osservi?

Come possiamo provare a distinguere l'acqua "pura" da altri tipi di acqua?

Il residuo che troviamo nell'acqua è quasi sempre costituito dai cosiddetti sali minerali, che hanno la proprietà di rendere l'acqua un conduttore di elettricità; infatti l'acqua "pura" non conduce la corrente elettrica.

Prova ora con un'esperienza la conducibilità dell'acqua: troverai sul banco l'occorrente per preparare un circuito elettrico, una pila e una piccola lampadina per verificare il passaggio di corrente.



Dopo aver verificato il funzionamento del circuito, prova la conducibilità dell'acqua distillata e dell'acqua di rubinetto.

Cosa concludi? _____

Quei materiali che siamo soliti chiamare acqua accompagnando il nome con un aggettivo (minerale, dolce, salata...) o con un identificativo di provenienza (di fiume, di sorgente, di falda...) in realtà sono soluzioni nelle quali solo il solvente è acqua e nelle quali sono contenute di solito piccole quantità di altri componenti; sono quindi miscugli. L'acqua "pura" è quella che si ottiene per distillazione, **quella cioè che contiene un solo componente: l'acqua**. Essa è l'unica ad avere proprietà misurabili costanti (a pressione standard la temperatura di fusione è 0°C e la temperatura di ebollizione è 100°C, il suo peso specifico è pari a 1000 Kg/m³) e i chimici la identificano come **SOSTANZA**.

ISOLA N°2 - bere o non bere?

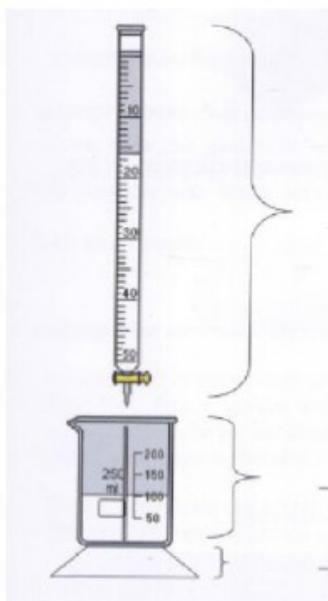
Come ben sai non tutte le acque si possono bere e utilizzare per cucinare; uno dei più grandi problemi delle popolazioni dei paesi in via di sviluppo è proprio quello di avere a disposizione acqua potabile. Ma in realtà cosa intendiamo con la parola **potabile**?

Esistono infatti diversi aspetti dell'acqua che devono essere attentamente valutati prima di garantire che l'acqua si può bere. Quelli che vogliamo considerare in questa isola sono l'aspetto chimico e quello biologico. In tutte le bottiglie di acqua minerale trovi un lungo elenco di specie chimiche e di ciascuna è riportata la quantità presente in un litro d'acqua. Per le acque destinate al consumo umano, infatti, una legge stabilisce i valori massimi di queste quantità.

La specie chimica di cui ci occuperemo in particolare è quella dei **CLORURI**. Ne determineremo la quantità in un litro d'acqua con un metodo di analisi che misura il volume di una soluzione che viene aggiunta al nostro campione di acqua. Il metodo si chiama **TITOLAZIONE**: andrete cioè a misurare il volume della soluzione necessaria per "consumare" tutti i cloruri presenti nell'acqua.

Con un calcolo otterrete poi la quantità di cloruri in un litro d'acqua (concentrazione).

Analizziamo prima di tutto l'apparecchiatura che ci serve per l'esperimento:



UTILIZZARE I GUANTI DI PROTEZIONE

Versate nel bechero un campione di 100 mL di acqua e aggiungete una sostanza che, cambiando colore, ci indica il momento in cui dobbiamo fermare l'esperimento. Nelle titolazioni, infatti, il "punto di arrivo" è indicato da una variazione di colore.

Aggiungete dalla buretta una soluzione, detta titolante, che in presenza di cloruri forma un solido bianco. Quando il colore del solido che si forma non è più bianco, ma diventa rosso mattone, abbiamo "consumato" completamente i cloruri e l'esperimento è terminato.

Il valore massimo di legge per i cloruri è fissato in 250 mg per ogni litro di acqua.

Procederai a determinare i cloruri in due campioni, uno di acqua di acquedotto e l'altro di acqua minerale. La formula che permette di ottenere la concentrazione dei cloruri è:

$$\text{cloruri (mg/L)} = \text{mL titolante} \times 3,5$$

Calcola quindi il valore per i due campioni esaminati e scrivi i risultati:

➤ 1° campione: ACQUA DI ACQUEDOTTO

aggiunta di titolante mL _____

concentrazione dei cloruri _____

➤ 2° campione: ACQUA MINERALE

aggiunta di titolante mL _____

concentrazione dei cloruri _____

Ovviamente oltre ai cloruri ci sono molte altre specie chimiche delle quali si devono determinare le quantità per accertare se l'acqua è potabile. Puoi leggere questi valori sull'etichetta delle acque minerali e fare un confronto con la tabella dei valori massimi permessi dalla legge, che

troverai sul banco. I metodi con cui questi valori si determinano in laboratorio possono essere di diverso tipo e alcuni di essi si basano sull'utilizzo di tecniche complesse e spesso automatiche.

(se il tempo lo consente gli studenti potranno assistere ad una determinazione dei nitrati con metodo spettrofotometrico UV)

L'aspetto dell'analisi microbiologica di cui ci occupiamo consiste nel filtrare i batteri invisibili presenti nell'acqua.

In seguito i batteri vengono coltivati in modo da farli crescere a formare delle colonie, che dopo alcuni giorni possono essere contate. Il numero delle colonie misura la carica batterica totale; in seguito è possibile riconoscere il tipo di batteri per escludere la presenza di germi che provocano malattie.

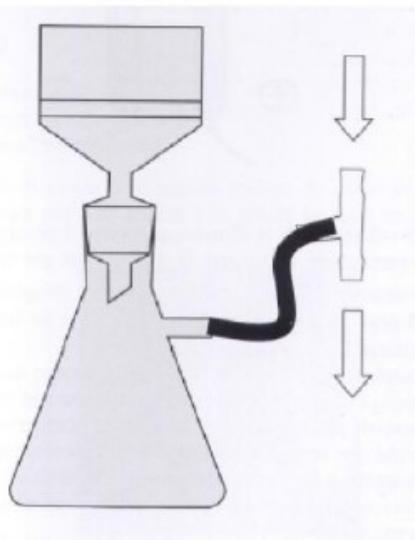
Per filtrare i batteri occorrono filtri con pori particolarmente piccoli e si filtra aspirando l'aria per rendere più veloce l'operazione; successivamente il filtro viene messo in un contenitore chiuso e lasciato per un giorno a temperatura di 37°C oppure per tre giorni alla temperatura ambiente.

Puoi osservare sul tuo banco dei filtri contenenti colture batteriche di acqua di pozzo e di acqua di acquedotto. In alcuni di questi puoi contare molte colonie di batteri:

questo indica un inquinamento microbiologico. La loro osservazione al microscopio permette inoltre di riconoscere i batteri presenti. Sulle etichette delle acque minerali è sempre indicato anche il risultato dell'analisi microbiologica.

Gli altri aspetti importanti per determinare la potabilità dell'acqua sono quelli fisici: la conducibilità e la temperatura alla fonte (che vengono sempre indicate in etichetta).

O ancora quelli organolettici, come colore, odore e sapore che vengono valutati osservando, annusando e assaggiando i campioni di acqua.



ISOLA N° 3 - acqua: un composto per l'energia del vostro futuro

Guidati dagli studenti "anziani" farete un esperimento in cui si fa passare la corrente elettrica in una soluzione acquosa. Si utilizza uno speciale apparecchio detto voltmetro di Hoffmann.

Nel voltmetro di Hoffmann avviene la cosiddetta elettrolisi dell'acqua: il passaggio di corrente, cioè, riesce a separare l'acqua nelle sostanze elementari che la compongono.

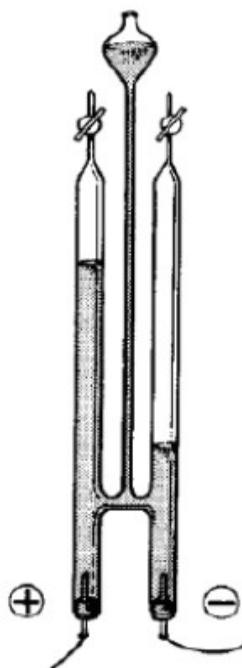
Ti accorgerai così che, stranamente, gli elementi che compongono una sostanza liquida possono essere anche dei gas.

Alcune prove che verranno condotte successivamente ci permetteranno di riconoscere questi due elementi che compongono l'acqua.

Certamente avrai già visto sui tuoi libri di scienze la formula chimica dell'acqua H_2O e forse ti sarai chiesto quale sia il suo significato.

In questa esperienza potrai trovare il significato chimico di questa formula.

Indicate nella figura seguente il nome delle diverse parti che compongono il nostro apparecchio e scrivete nello spazio a fianco quello che osservate durante l'esperimento.



Dopo un certo tempo, cosa osservate?

buretta con elettrodo -
volume gas = _____

buretta con elettrodo +
volume gas = _____

Calcola il rapporto tra i due valori:

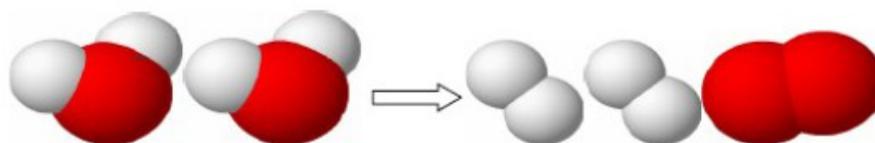
Che prova è stata svolta sul gas della
buretta con elettrodo - ?

Che prova è stata svolta sul gas della
buretta con elettrodo + ?

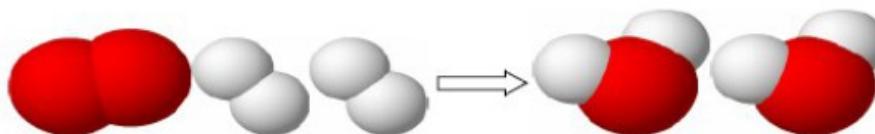
Nel voltmetro di Hoffmann, attraverso il passaggio di corrente elettrica, riusciamo quindi a scomporre l'acqua in modo da raccogliere e misurare la quantità dei gas che si formano. La formula H_2O significa che ogni particella di acqua (molecola) è formata da due atomi di idrogeno legati a un atomo di ossigeno. Per questo diciamo che idrogeno e ossigeno sono elementi, mentre l'acqua è un composto. Per mezzo della corrente elettrica siamo riusciti a separare gli elementi che costituiscono l'acqua.

Quando due elementi si legano per formare un composto perdono le loro caratteristiche originarie: infatti l'idrogeno brucia, l'ossigeno fa bruciare, ma l'acqua non brucia e non fa bruciare. Idrogeno, ossigeno e acqua sono sostanze, cioè materiali puri, perché sono formati da particelle (molecole) tutte uguali tra loro. Idrogeno e ossigeno sono elementi, perché non possono essere a loro volta scomposti e le loro particelle sono formate da atomi uguali. L'acqua invece è un composto, e le sue molecole sono formate da atomi diversi.

Utilizzando dei modelli di molecole, possiamo immaginare che la scomposizione dell'acqua avvenga più o meno in questo modo:



Avete visto che spendendo energia elettrica si può scomporre l'acqua; potete intuire che se si combinano insieme idrogeno e ossigeno in un opportuno sistema si può ottenere energia elettrica.



Il dispositivo in cui avviene questa combinazione si chiama fuel-cell, cioè cella elettrochimica a combustibile. Questi dispositivi, fino a qualche anno fa, fornivano energia elettrica alle navicelle spaziali. Ora questa tecnologia si sta sviluppando anche per usi diversi, in particolare per sostituire le automobili a benzina con automobili a motore elettrico, quindi assai meno inquinanti.

Qual è il problema che ancora deve essere risolto?
Per ottenere energia elettrica nella fuel-cell ho bisogno



dell'ossigeno e dell'idrogeno: il primo è nell'aria, è gratis, ma l'idrogeno no.

L'idrogeno elementare sulla terra non c'è, esso è sempre legato ad altri atomi, in particolare al carbonio con cui forma sostanze come il metano, oppure all'ossigeno col quale forma l'acqua.

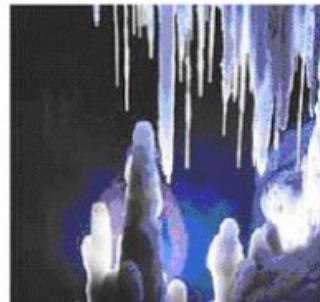
Quindi per ottenerlo puro occorre fare l'elettrolisi dell'acqua o scomporre il metano con una reazione chimica. In ogni caso è necessario utilizzare fonti diverse per avere l'energia necessaria. Per evitare di usare petrolio sono nate le celle fotovoltaiche che trasformano la luce solare direttamente in energia elettrica.

Le puoi sperimentare nel modellino di automobile che ti verrà mostrato dai nostri "esperti": il carburante che permette all'auto di muoversi è soltanto l'acqua.

ISOLA N° 4 – il calcio nell'acqua è uno sport duro

Uno dei principali problemi causati dall'acqua è costituito dalle incrostazioni di calcare. Quando l'acqua dell'acquedotto viene riscaldata tende infatti a depositare un materiale solido. Descrivi che cosa hai osservato dopo aver fatto bollire acqua di rubinetto in un recipiente.

Il materiale che si deposita è costituito in prevalenza da carbonato di calcio e in misura minore da carbonato di magnesio, di ferro e di altri elementi. Questa sostanza non è velenosa, neppure tossica e in natura ha dato luogo a meravigliose manifestazioni:



Quattro isole sull'acqua

In quali situazioni hai verificato che i depositi calcarei causati dall'acqua sono dannosi?



La **DUREZZA** è quella proprietà dell'acqua che indica la concentrazione dei carbonati che possono creare il deposito calcareo.

L'acqua distillata naturalmente non contiene ioni di nessun tipo, quindi la sua durezza è ZERO.

Una prova semplice per avere un'idea della durezza di un'acqua consiste nell'osservare la schiuma che si produce mescolandola con una piccola quantità di detersivo. La durezza dell'acqua, infatti, aumenta la quantità di detersivo necessario per i lavaggi (leggi le indicazioni sulle confezioni di detersivo per il lavaggio in lavatrice o a mano).

Il metodo chimico utilizzato per determinare la durezza di un'acqua per uso civile o industriale consiste in una **titolazione**, cioè una prova che consente di misurare tutti gli ioni che possono formare i depositi calcarei. Scrivi nel riquadro la funzione dei materiali usati per la titolazione:

vetreria e altri materiali impiegati	soluzioni e sostanze impiegate
becher	titolando
agitatore magnetico	titolante EDTA
buretta	indicatore NET
cilindro graduato	soluzione tampone

Insieme ai tuoi "istruzioni" farai la titolazione di un campione da 50 mL di acqua di rubinetto e di alcune acque minerali. *Che cosa avviene nel corso della titolazione?*

L'indicatore NET che aggiungiamo all'acqua è di colore BLU, ma in presenza di ioni calcio nell'acqua diventa ROSSO. Aggiungendo il titolante EDTA strappiamo gli ioni calcio: quando avremo tolto tutto il calcio, il colore tornerà BLU.

Il dato che ricaviamo dalla titolazione è il **VOLUME DI TITOLANTE** aggiunto.

Il volume di titolante (in mL) moltiplicato per 2 corrisponde alla durezza dell'acqua espressa in gradi francesi.

Durezza dell'acqua di acquedotto misurata _____
 Durezza dell'acqua minerale _____
 Durezza dell'acqua minerale _____
 Durezza dell'acqua minerale _____

Tubazioni con evidenti incrostazioni calcaree



Incrostazioni calcaree in una tubazione zincata



Incrostazioni calcaree in una tubazione non metallica (sintetica)



Incrostazioni calcaree in una tubazione in rame

Si chiamano **addolcitori**, quei dispositivi che riducono la durezza dell'acqua. Nella lavatrice si mettono sostanze a perdere che *bloccano la precipitazione* del calcare (tipo Calfort), mentre nella lavastoviglie c'è un apparecchio addolcitore che contiene una "resina" che scambia il calcio con altri ioni, e si rigenera aggiungendo periodicamente il sale. Sul tuo banco troverai dei granelli di questa resina: misura ora la durezza dell'acqua di rubinetto rimasta a contatto con la resina per qualche decina di minuti e verifica l'effetto dell'addolcitore:

Durezza dell'acqua di acquedotto dopo contatto con la resina _____

Discuti con i nostri "esperti" alcune verità e alcune bugie sulla durezza:

L'acqua molto dura si digerisce male
L'acqua molto dura fa venire i calcoli ai reni e al fegato
L'acqua molto dura fa consumare più detersivo
L'acqua dura è utile nell'alimentazione dei bambini
L'acqua addolcita è più potabile di quella del rubinetto

TABELLA DI PARAMETRI ORGANOLETTICI

Campione acqua n° _____

COLORE	ODORE	SAPORE	GIUDIZIO COMPLESSIVO

METODO DI CANNIZZARO PER LA DETERMINAZIONE DELLE MASSE ATOMICHE E SUA VERIFICA SPERIMENTALE CON MODELLI MACROSCOPICI

POTENZO GIANNOCCARO

*Dipartimento di chimica, Università degli studi di Bari, via Orabona 4,
giannoccaro@chimica.uniba.it*

*Angela Leone, Marilena Muraglia, Annalisa Napola, Laura Anna Valenzano.
Allievi del VI Ciclo, SSIS Puglia, Classe 13A*

Riassunto

L'articolo ripercorre le tappe più significative seguite dai primi studiosi per assegnare le masse atomiche, illustra la validità scientifica del metodo basato sui rapporti di combinazione in peso (Legge di Proust) e ne evidenzia i suoi limiti, in quanto il ricavo delle masse atomiche con tale procedura è strettamente correlato alla conoscenza della formula molecolare dei composti che il metodo non consente di assegnare con certezza. Passa, quindi, ad illustrare l'originale e innovativa procedura introdotta da Stanislao Cannizzaro che consente di ricavare sia le masse atomiche che la corretta formula molecolare del composto. Infine, suggerisce una originale procedura sperimentale basata sul modello macroscopico di "molecola, moli e... pastine" in grado di verificare il metodo di Cannizzaro.

La verifica consente anche di chiarire il significato della densità relativa e dell'analisi percentuale di un composto e di come esse possano essere ricavate per semplice pesata.

Introduzione

La Riforma dei Corsi Universitari e l'introduzione delle Lauree Triennali hanno richiesto una notevole contrazione dei programmi di tutte le discipline oggetto di studio nei singoli corsi. In particolare, i corsi fondamentali, che nelle vecchie lauree quinquennali venivano sviluppati nell'arco di 80-120 h, hanno visto più che dimezzato il tempo a loro disposizione. I docenti sono stati, quindi, costretti a ridurre drasticamente i loro programmi. Per quanto riguarda i corsi di Chimica Generale ed Inorganica, il taglio ha riguardato soprattutto le *leggi fondamentali della chimica* e i concetti ad esse correlati, in quanto si ritiene che questi vengano trattati in quasi tutte le Scuole Secondarie. La mancanza di una revisione a livello universitario di tali argomenti, anche se semplici, ma di importanza fondamentale per illustrare le problematiche del mondo infinitamente piccolo, potrebbe far risentire i suoi effetti già col prossimo reclutamento dei giovani docenti a cui si dovrà far ricorso per l'inevitabile "turn-over" generazionale. Il rischio è che la loro conoscenza critica di questi argomenti sia del tutto nulla. Spetta quindi ai docenti delle

SSIS il loro recupero.

Questo lavoro, sviluppato nel corso della "Didattica della Chimica Generale" Classe 13 A, della SSIS Puglia, si articola in due parti. Nella prima vengono evidenziate le difficoltà che i primi studiosi incontrarono nella determinazione delle masse atomiche e come esse furono superate grazie all'intuito di Stanislao Cannizzaro, uno dei primi importanti chimici italiani, che stupì i suoi contemporanei quando nel 1860, a Karlsruhe, dove si tenne quello che può essere considerato il 1° Congresso Internazionale di Chimica, presentò il suo originale metodo per la determinazione delle masse atomiche; nella seconda, si ricorre al modello macroscopico di "mole, pasta e... pastine" per illustrare e verificare il metodo da lui proposto.

Problematiche Inerenti la Determinazione delle Masse Atomiche

La determinazione delle masse di oggetti macroscopici è un'operazione semplicissima, per la quale è sufficiente l'uso di una bilancia. L'operazione diventa molto più complessa quando gli oggetti sono microscopici o sub-microscopici, in quanto le loro masse sono così piccole da non poter essere apprezzate neppure con le bilance più sensibili. È questa la difficoltà che dovettero affrontare i primi studiosi che si interessarono della determinazione delle masse atomiche. Il problema, com'è noto, fu risolto determinando non le masse assolute dei singoli atomi, ma le loro masse relative, cioè quanto una singola specie atomica pesa in più di un'altra, scelta come riferimento.

Questa procedura, comunque, non fu priva di difficoltà e richiese il contributo di numerosi studiosi, tra i quali Stanislao Cannizzaro ebbe sicuramente un ruolo fondamentale.

Di seguito, vengono ripercorse le tappe più significative e le difficoltà che si dovettero superare per ricavare le masse atomiche. Il punto di partenza per tali assegnazioni è, in accordo con la metodologia galileiana, il rapporto delle combinazioni in peso degli elementi, meglio noto come legge di Proust o legge delle proporzioni fisse (nota 1). In Tabella 1 vengono riportate, in accordo con tale legge, le quantità in grammi di alcuni elementi che reagiscono con

1,00 g di idrogeno.

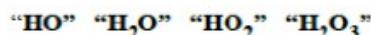
Tabella 1: Legge di Proust o delle proporzioni fisse¹

H	C	O	N	P	S	Cl
1,00	2,99					
1,00		7,98				
1,00			4,65			
1,00				10,32		
1,00					16,01	
1,00						35,3

1) Quantità in g di alcuni elementi che reagiscono con 1,00 g di idrogeno

Poiché queste quantità sono dello stesso ordine di grandezza, si può dedurre, come fecero i primi studiosi, che gli atomi, quando reagiscono, si combinano secondo dei rapporti semplici.

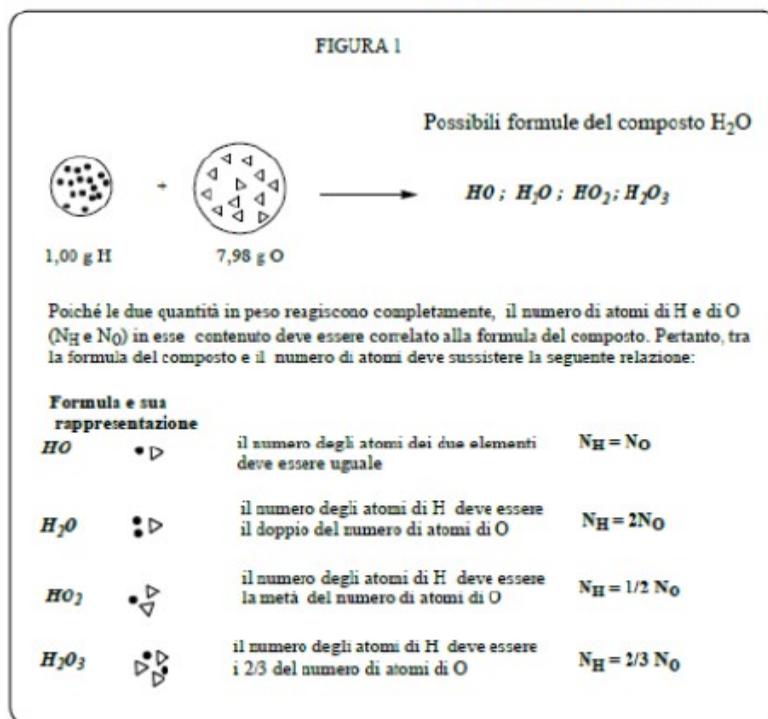
Ad esempio, se consideriamo la combinazione tra **H** e **O**, che com'è noto reagiscono a dare il composto acqua, essa dovrà necessariamente avere una delle seguenti formule:



Tali formule stanno rispettivamente ad indicare che la molecola dell'acqua può essere costituita da un atomo di

H e un atomo di **O** (**HO**); da due atomi di **H** e un atomo di **O** (**H₂O**); ecc. Di conseguenza, il rapporto tra il numero di atomi di idrogeno (**N_H**) e il numero di atomi di ossigeno (**N_O**) presente nelle due quantità in peso deve essere lo stesso di quello presente nella formula assegnata al composto, come illustrato in Figura 1, in cui gli atomi di **H** sono stati rappresentati con un puntino e quelli dell'**O** con un triangolo.

I primi studiosi assegnarono all'acqua la formula “**HO**” per cui, sulla base delle precedenti considerazioni, poiché il numero di atomi di idrogeno presente in 1,00 g di **H** deve essere uguale al numero di atomi di ossigeno presenti in 7,98 g di **O**, ne deriva che un atomo di ossigeno deve pesare 7,98 volte in più di un atomo di **H**. Pertanto, se si assegna all' **H** massa atomica 1,00, la massa dell'atomo di **O** risulta 7,98. Applicando lo stesso ragionamento agli altri elementi, è possibile ricavare le loro masse relative. Riferendoci, ad esempio, alla reazione tra **H** e **Cl** e ammettendo che la formula del relativo composto sia “**HCl**”, dai dati in Tabella 1 si ricava che un atomo di “**Cl**” deve avere una massa atomica relativa di 35,3. La procedura illustrata, corretta da un punto di vista metodologico, è inficiata dalla incertezza sulla esatta conoscenza della formula del composto a cui danno origine gli atomi reagenti. Infatti, se la formula dell'acqua fosse “**H₂O**”, come successivamente fu accertato e non “**HO**”, la massa atomica relativa dell'“**O**” risulterebbe di 15,96 (2 x 7,98), che è esattamente il doppio del valore ricavato per la prima formula. Analogamente, se la formula fosse “**HO₂**”, la massa atomica relativa dell'“**O**” risulterebbe 3,99 (1/2 x 7,98).



I dati in Tabella 2 illustrano come varia il valore della massa atomica relativa attribuita agli atomi reagenti al variare della formula molecolare attribuita al composto, fermo restando l'unico dato sperimentale certo, il rapporto di combinazione in peso degli elementi, ovvero la legge di Proust.

I dati della seconda colonna sono correlati alla formula del composto (vedi Figura 1), mentre quelli della terza colonna si ricavano applicando la seguente relazione:

$$\frac{\text{grammi ossigeno}}{\text{grammi idrogeno}} = \frac{7,98}{1,00} = \frac{N_O \times M_O}{N_H \times M_H}$$

in cui la massa dei due elementi è stata espressa come prodotto del numero di atomi (N_H o N_O) presente nelle quantità pesate per la loro massa atomica (M_H o M_O). Per i calcoli si è tenuto conto della relazione tra N_H e N_O (seconda colonna). Applicando, ad esempio, la relazione alla terza riga, in cui all'acqua è stata assegnata la formula H_2O , si ha:

$$\frac{7,98}{1,00} = \frac{1/2 N_H \times M_O}{N_H \times M_H}$$

che semplificando diventa: $\frac{M_O}{M_H} = \frac{2 \times 7,98}{1,00}$

Avendo scelto l' H come atomo di riferimento, al quale si è assegnato massa atomica 1,00 ($M_H = 1,00$), si ricava che l' O ha una massa relativa di 15,96 ($M_O = 2 \times 7,98$).

Gli altri valori presenti nelle colonne 3 e 5, si ricavano allo stesso modo.

Appare evidente che se non si conosce l'esatta formula molecolare del composto non si può essere certi del valore della massa atomica relativa dei suoi costituenti.

Questo problema, come abbiamo anticipato, fu risolto da Stanislao Cannizzaro il quale, sulla base del Principio di Avogadro e delle leggi di Gay-Lussac sulle combinazioni gassose, introdusse una procedura sperimentale in grado di ricavare sia la formula molecolare di un generico

composto che le masse atomiche relative degli atomi di cui è costituito. Il metodo si basa sul fatto che è possibile ricavare la formula molecolare di un composto conoscendo la sua massa molare (M) e il contributo in peso degli atomi che lo costituiscono. Ad esempio, sapendo che il metano ha $M = 16$, e che esso è formato da idrogeno e da carbonio, il cui contributo al valore di M risulta rispettivamente di 4 e di 12 (vedi Tabella 3), la sua formula molecolare può essere così ricavata:

$$\begin{array}{ll} \text{Formula del composto} & C_xH_y \quad M = 16 \\ \text{Contributo dei due elementi:} & C_x = 12 \quad H_y = 4 \end{array}$$

Poiché x e y , numero di atomi rispettivamente di C e di H presenti nel composto, devono essere dei numeri interi, tra il numero di atomi presenti nella formula del composto, la massa atomica del C (M_C) o dell' H (M_H) e il loro contributo alla massa molare, deve sussistere la seguente relazione (eqz. 1)

$$x = \frac{12}{M_C} \quad ; \quad y = \frac{4}{M_H} \quad (1)$$

Ora, se si analizza un gran numero di composti contenenti carbonio e idrogeno e per ognuno di essi si ricava il valore della massa molare e il relativo contributo dei due elementi, sarà molto probabile che almeno uno tra tutti i composti analizzati conterrà un solo atomo di carbonio o un solo atomo di idrogeno, per cui la più piccola quantità in peso degli elementi presente nella massa molare di uno dei composti, rappresenterà il valore della sua massa atomica. Nel caso dei due elementi presenti nel metano, le quantità più piccole ritrovate sono 12 per il carbonio e 1 per l'idrogeno (Tabella 3), per cui la formula del metano dovrà essere CH_4 . I dati riportati in Tabella 3 [1] illustrano la procedura proposta da Cannizzaro. Per ogni composto (colonna 1) sono necessari due dati sperimentali, la sua densità relativa all'idrogeno (colonna 2) e la % in peso degli elementi in esso presenti (colonna 3), che permettono di ricavare rispettivamente il valore di

Tabella 2. Correlazione tra massa atomica relativa e formula del composto

Formula	Relazione tra N_O e N_H	Rapporto tra le masse atomiche M_O / M_H	Massa atomica di H	Massa atomica di O
HO	$N_O = N_H$	$7,98 / 1,00$	1,00	7,98
H_2O	$N_O = 1/2 N_H$	$2 \times (7,98 / 1,00)$	1,00	$2 \times 7,98 = 15,96$
HO_2	$N_O = 2 N_H$	$1/2 \times (7,98 / 1,00)$	1,00	$1/2 \times 7,98 = 3,99$
H_2O_3	$N_O = 3/2 N_H$	$3/2 \times (7,98 / 1,00)$	1,00	$3/2 \times 7,98 = 11,97$

M del composto (colonna 4) (nota 2) e il contributo alla massa molare (colonne 5-9) degli elementi di cui sono costituiti. Nella riga 10 vengono riportate le masse degli atomi costituenti i singoli composti e sulla base di questi valori, in colonna 10 viene proposta la loro formula molecolare.

Riferendoci all'esempio precedente del metano, dal valore della sua densità gassosa ($d_R = 7,94$), si ricava una massa molare di 16 ($PM = 7,94 \times 2,016$), mentre dai valori delle % in peso, con una semplice proporzione, si ricavano i grammi del carbonio e dell'idrogeno contenuti in M (nota 8). Pertanto, il loro contributo a M è dato:

$$C, (\text{contributo a M}) = \frac{75,00}{100} \times 16 \rightarrow 12;$$

$$H, (\text{contributo a M}) = \frac{25,00}{100} \times 16 \rightarrow 4$$

Con la stessa procedura si ricavano i dati riportati per tutti

gli altri composti.

Modelli Macroscopici per Illustrare il Metodo di Cannizzaro

Il ricorso a modelli macroscopici per interpretare o giustificare alcune proprietà del mondo infinitamente piccolo è abbastanza comune nel campo delle Scienze Sperimentali, forse per una intrinseca necessità della mente umana di voler visualizzare il più possibile ciò che non ricade direttamente sotto i suoi sensi.

Relativamente alla chimica, modelli macroscopici a base di prodotti ubiquitari e costituiti da singoli pezzi il più possibilmente uguali tra di loro, in grado di mimare gli atomi, sono già stati utilizzati per illustrare alcune proprietà della materia ed in particolare il concetto di mole [2-3]. Di recente, nell'ambito del corso di "Didattica della Chimica Generale" svolto presso la SSIS Puglia, il modello di "molecole, moli e...pastine" [3] è stato applicato per illustrare il concetto di massa atomica relativa, per giustificare la costante di Avogadro e per verificare le leggi di Proust e Dalton [4-5].

Tabella 3. Determinazione delle formule molecolari e delle masse atomiche relative col metodo di Cannizzaro

Composto	Densità relativa all'H (d_R)	% peso	Contributo in peso degli elementi al valore di M del composto					Formula Molecolare
			M	H	N	O	C	
Acqua	8,93	H% = 11,11 O% = 88,89	18	2		16		H ₂ O
Ammoniaca	8,43	H% = 17,65 N% = 82,35	17	3	14			NH ₃
Metano	7,94	H% = 25,00 C% = 75,00	16	4			12	CH ₄
Acido cloridrico	18,10	H% = 2,74 Cl% = 97,26	36,5	1				35,5 HCl
Etano	14,88	H% = 20,00 C% = 80,00	30	6			24	C ₂ H ₆
metanolo	15,87	H% = 12,50 C% = 37,50 O% = 50,00	32	4		16	12	CH ₃ OH
Ossidi di Azoto								
Composto A	21,82	N% = 63,64 O% = 36,36	44		28	16		N ₂ O
Composto B	14,88	N% = 46,67 O% = 53,33	30		14	16		NO
Composto C	37,70	N% = 36,84 O% = 63,16	76		28	48		N ₂ O ₃
Masse atomiche				1	14	16	12	

Ora, questo modello viene utilizzato per illustrare il metodo proposto da Cannizzaro per la determinazione delle masse atomiche e delle formule dei composti. Il metodo, inoltre, si presta molto bene a evidenziare il significato di un'analisi percentuale degli elementi di un composto.

Raccolta dei Dati Sperimentali e Modalità di Esecuzione dell'Esperimento

In accordo con il modello, si sono scelti alcuni campioni di pasta (praticamente qualunque formato può essere usato) o/e di legumi (vedi tabella 4) e per ognuno di essi, preliminarmente, si è proceduto ad eliminare quei pezzi le cui dimensioni risultavano visibilmente dissimili. I campioni così omogeneizzati sono stati posti in contenitori e ad ognuno di essi si è assegnato un simbolo, usando la prima o le prime due lettere del loro nome commerciale, in accordo con la procedura introdotta da J.J. Berzelius. Opzionalmente, ad ogni campione è possibile associare una specie atomica cercando di rispettare in tale associazione l'ordine delle loro masse (Tabella 4).

A questo punto, così come fanno gli atomi che reagiscono e formano dei composti in base alle loro specifiche caratteristiche, è possibile prelevare dai contenitori alcuni pezzi dei vari campioni, metterli insieme e mimare la formazione di composti binari, ternari, quaternari, ecc. Ognuna delle combinazioni che si realizza rappresenta un composto (nota 3) e, come tale, avrà una propria formula (formula molecolare) e una propria massa (massa molare). Poiché l'applicazione del metodo di Cannizzaro richiede la conoscenza del valore di M dei composti e della composizione in % in peso degli elementi che li costituiscono, occorre preliminarmente stabilire come ricavare questi dati. Relativamente al calcolo delle masse molari, dal momento che nel metodo di Cannizzaro essi vengono ottenuti attraverso i valori delle densità relative, occorre trovare una procedura scientificamente corretta per la loro determinazione, per cui si è seguita la stessa procedura di Cannizzaro ricorrendo al Principio di Avogadro, il cui enunciato, non trattandosi di specie gassose o di liquidi basso bollenti, è stato leggermente modificato. L'enunciato (nota 4), in questo contesto, è stato così riformulato: "un ugual numero di moli di composti diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione occupano lo stesso volume". In base a tale formulazione, scientificamente corretta in quanto in accordo con l'equazione di stato dei gas, se per ogni composto (composizione realizzata con i diversi campioni), binario ternario o quaternario, si pesano un ugual numero di combinazioni (moli), il rapporto delle loro masse, per il principio di Avogadro, deve essere uguale al rapporto sia delle loro densità che delle loro masse molari (nota 5). Pertanto, per ricavare le densità relative dei diversi composti occorre soltanto portare sul piatto di una bilancia un ugual numero delle varie composizioni realizzate e dividere i valori delle loro masse (G_{composto}) per la massa (GR) di un ugual numero di composizioni di un altro campione scelto come

riferimento. Come riferimento si è scelto un campione di *anellini* e si è supposto che esso dia origine a combinazioni biatomiche (nota 6).

Anche la composizione % dei vari composti, l'altro dato sperimentale necessario per l'applicazione del metodo di Cannizzaro, è stata ricavata per pesata, secondo le modalità descritte più avanti.

Tabella 4. Campioni utilizzati, simboli e atomi associati

Campioni di Pasta	Simboli	Atomi associati
<i>Anellini</i>	<i>An</i>	<i>H</i>
<i>Tubettini</i>	<i>Tu</i>	<i>B</i>
<i>Lumachine</i>	<i>Lu</i>	<i>C</i>
<i>Cavatelli</i>	<i>Ca</i>	<i>N</i>
<i>Scorze di nocelle</i>	<i>Sc</i>	<i>O</i>
<i>Gnocchi</i>	<i>Gn</i>	<i>P</i>
<i>Sedanini</i>	<i>Se</i>	<i>S</i>
<i>Fusilli</i>	<i>Fu</i>	<i>Cl</i>

In conclusione, la procedura proposta è esattamente la stessa di quella introdotta da Cannizzaro. La differenza sostanziale è che in questo caso i composti invece di essere gassosi o liquidi basso bollenti sono solidi e costituiti di oggetti macroscopici.

Si può ora procedere alla verifica del metodo. Per rendere l'operazione più attrattiva e stimolante anche per gli stessi sperimentatori, la raccolta dei dati è stata organizzata in modo tale da permettere una conoscenza solo parziale di essi. Pertanto, gli sperimentatori (i corsisti del VI ciclo della SSIS- Puglia), sono stati divisi in quattro gruppi. A due di essi è stato dato l'incarico di assemblare i vari campioni e quindi di sintetizzare i composti (reparto sintetico); agli altri due di effettuare le pesate (reparto analisi). I due "gruppi sintetici", in accordo con i compiti assegnati, hanno proceduto a combinare i pezzi dei vari campioni di pasta e/o legumi, e ognuno di essi, in modo del tutto autonomo, ha sintetizzato un certo numero di composti.

Per ogni composto, per comune accordo, si è deciso di assemblare 120 moli (composizioni). I pezzi presenti nelle 120 moli dei composti sono stati posti in contenitori e consegnati ai due gruppi del "reparto analisi". Questi, quindi, hanno ricevuto i contenitori con dentro distribuiti a caso i pezzi dei vari campioni dei quali però non conoscevano la composizione. I campioni sono stati numerati (Tabella 5, colonna 1), pesati e le loro masse (G_{composto}) riportate in Tabella 5 (colonna 2). Si è proceduto, quindi, ad analizzare i vari composti per la determinazione della loro composizione in %, l'altro dato necessario per l'applicazione del metodo di Cannizzaro.

L'analisi è stata effettuata raggruppando separatamente i

pezzi dei diversi campioni di pasta che concorrevano alla formazione dei composti e a ricavare per pesata la loro massa (*Gspecie*). In questa operazione si è presa, anche, visione della natura del composto che si stava analizzando, e cioè, se si trattava di un composto binario (due diverse specie atomiche, nel nostro caso due diversi formati di pasta), ternario, ecc. Nella colonna (3) sono stati riportati i valori delle masse ottenute. E' evidente che per ogni composto (2-14) la somma delle masse delle specie costituenti (colonna 3) deve essere uguale alla massa totale (colonna 2) delle 120 moli del composto campione. Per una maggiore efficacia didattica si è preferito dare il risultato delle analisi sotto questa forma ed effettuare la loro conversione in percentuale in peso in modo collegiale. Sulla base di questi dati, utilizzando i simboli dei diversi campioni, è possibile proporre la generica formula del composto (colonna 6). Ad esempio, riferendosi al composto 14, che è costituito da tre diversi formati di pasta, *anellini* (*An*), *lumachine* (*Lu*) e *scorze di nocelle* (*Sc*), la sua formula sarà " $An_xLu_ySc_z$ ". L'ultimo dato necessario, la massa delle 120 moli del campione di *anellini* di riferimento, è stato raccolto alla presenza di tutti. Pertanto, poiché si è supposto che essi si combinino a dare molecole biatomiche, sono stati contati 240 *anellini* e si è ricavata la loro massa (riga 1, colonna 1) (nota 7). Tutte le operazioni che seguono sono state condotte in modo collegiale.

Elaborazione dei Dati e Ricavo delle Masse Relative dei Singoli Pezzi dei Diversi Campioni

I dati delle pesate riportate nelle colonne 2 e 3, consentono di ricavare le densità relative dei singoli composti a composizione incognita, rispetto al campione di *anellini* e da queste risalire alle loro masse molari attraverso la relazione di Avogadro (nota 6). Le masse dei costituenti i composti vengono convertiti in % in peso, da cui poi è possibile ricavare il loro contributo alla massa molare (nota 8).

Calcolo delle densità relative

I valori delle densità relative dei singoli composti (colonna 4), sono stati ottenuti, come già anticipato, dividendo i valori delle masse dei vari composti (*Gtot*, colonna 2) per 4,02, corrispondente alla massa espressa in g di 120 moli di *anellini*, scelti come campione di riferimento (eqz. 2),

$$d_R = \frac{G_{composti}}{4,02} \tag{2}$$

Applicando la relazione al composto precedente, " $An_xLu_ySc_z$ ", si ha,

$$d_R = \frac{147,38}{4,02} \rightarrow 36,66$$

Tabella 5. Verifica del metodo di Cannizzaro con modelli macroscopici

Composti e G(tot)	G (specie)	d _u	%	Formula Generica	M	Contributo degli elementi al peso molecolare ⁽¹⁾						Formula						
						An	Tu	Lu	Ca	Sc	Gn		Fu					
1	4,02	An, 4,02	1,00	100	An ₂	2,00												
2	31,15	Tu, 23,20 An, 7,95	7,75	Tu, 74,48 An, 25,52	Tu _x An _y	15,50	3,96	11,54 (1)										An ₂ Tu
3	38,54	An, 8,11 Lu, 30,42	9,59	An, 21,04 Lu, 78,96	An _x Lu _y	19,18	4,03		15,14 (1)									An ₂ Lu
4	63,98	An, 3,97 Lu, 60,01	15,92	An, 6,21 Lu, 93,79	An _x Lu _y	31,84	1,98			29,85 (2)								An ₂ Lu
5	105,73	An, 16,22 Lu, 89,51	26,30	An, 15,34 Lu, 84,66	An _x Lu _y	52,60	8,06			44,53 (3)								An ₂ Lu ₃
6	49,09	An, 5,96 Ca, 43,13	12,21	An, 12,14 Ca, 87,86	An _x Ca _y	24,42	2,96			21,46 (1)								An ₂ Ca
7	93,24	An, 8,23 Ca, 85,01	23,19	An, 8,83 Ca, 91,17	An _x Ca _y	46,38	4,09			42,29 (2)								An ₂ Ca ₂
8	158,01	An, 1,99 Ca, 43,37 Sc, 112,65	39,31	An, 1,26 Ca, 27,45 Sc, 71,29	An _x Ca _y Sc _z	78,62	0,99			21,58 (1)	56,05 (3)							AnCaSc ₃
9	121,04	An, 1,98 Ca, 43,58 Sc, 75,48	30,11	An, 1,64 Ca, 36,00 Sc, 62,36	An _x Ca _y Sc _z	60,22	0,99			21,68 (1)	37,53 (2)							AnCaSc ₂
10	342,10	An, 2,03 Sc, 154,75 Fu, 185,32	85,10	An, 0,59 Sc, 45,24 Fu, 54,17	An _x Sc _y Fu _z	170,20	1,01				76,99 (4)				92,15			AnFuSc ₃
11	262,69	An, 2,03 Sc, 75,71 Fu, 184,95	65,35	An, 0,77 Sc, 28,82 Fu, 70,41	An _x Sc _y Fu _z	130,70	1,01				37,67 (2)				92,02			AnFuSc ₂
12	263,52	An, 6,08 Sc 150,50 Gn, 106,94	65,55	An, 2,31 Sc, 57,11 Gn, 40,58	An _x Sc _y Gn _z	131,10	3,02				74,87 (4)			53,20				An ₂ GnSc ₄
13	67,77	Lu, 29,84 Sc, 37,93	16,86	Lu, 44,03 Sc, 55,97	LuSc	33,72			14,85 (1)		18,87 (1)							LuSc
14	147,38	An, 4,01 Lu, 30,04 Sc, 113,33	36,66	An, 2,72 Lu, 20,38 Sc, 76,90	An _x Lu _y Sc _z	73,32	1,99			14,94 (1)		56,38 (3)						An ₂ LuSc ₃
Masse relative dei singoli oggetti							1,00	11,54	14,91	21,40	18,86	53,20	92,11					

(1) I valori tra parentesi rappresentano il numero di pezzi corrispondenti alla quantità di ogni singola specie presente nel PM.

Calcolo delle Masse Molari

I valori delle masse molari (M, colonna 7) sono stati ottenuti applicando la relazione di Avogadro, (eqz. 3)

$$M = d_R \times M_R \quad (3)$$

in cui a M_R si è assegnato valore 2,00 (note 6 e 7).

Applicando l'espressione al campione di " $An_xLu_ySc_z$ ", si ha: $M = 36,66 \times 2,00 \rightarrow 73,32$

Conversione dei Dati delle Analisi in Valori di Percentuale in Peso

Sebbene questa conversione non sia necessaria per ricavare il contributo in peso dei vari formati alle masse molari, essa è stata ugualmente effettuata per meglio puntualizzare il significato di %, che pur non essendo di difficile comprensione, non sempre viene ben recepito da una parte degli studenti delle scuole secondarie. I valori (colonna 5) sono stati ottenuti applicando la seguente relazione (eqz. 4):

$$\%(\text{generico elemento}) = \frac{G_{\text{elemento}}}{G_{\text{composto}}} \times 100 \quad (4)$$

Applicando l'espressione al solito campione di " $An_xLu_ySc_z$ ", si ha:

$$\%(An) = \frac{4,01}{147,38} \times 100 \rightarrow 2,72;$$

$$\%(Lu) = \frac{30,04}{147,38} \times 100 \rightarrow 20,38;$$

$$\%(Sc) = \frac{113,33}{147,38} \times 100 \rightarrow 76,90$$

Calcolo del Contributo degli Elementi al Valore del M

I valori (colonne 8-14) sono stati ottenuti in modo analogo a quanto fatto in precedenza per ricavare il contributo del C e dell'H nel metano (eqz.1). In generale, per ogni composto, il contributo al valore di M di una sua generica specie componente è stato ottenuto applicando la seguente relazione (eqz. 5) (nota 8)

Contributo della generica specie al valore di M:

$$\frac{\%(specie)}{100} \times M \quad (5)$$

Riferendoci al campione 14, si ha:

$$\text{contributo } An = \frac{2,72}{100} \times 73,32 \rightarrow 1,99;$$

$$\text{contributo } Lu = \frac{20,38}{100} \times 73,32 \rightarrow 14,94;$$

$$\text{contributo } Sc = \frac{76,90}{100} \times 73,32 \rightarrow 56,38$$

Applicando la stessa procedura a tutti gli altri composti, è possibile ricavare il contributo di ogni specie al valore di M. In base al metodo, il più piccolo valore che si ottiene per ogni formato (riga 15) sarà, con molta probabilità, il valore della sua massa rispetto a quello di un *anellino*. Il numero di pezzi di ogni specie componente, presente nei composti, che permette di ricavare le formule molecolari (colonna 15), è stato ottenuto dividendo il contributo a M di ogni specie per la massa della singola specie (eqz.1), come già illustrato in precedenza nel caso del metano. Riferendoci pertanto al composto " $An_xLu_ySc_z$ ", dalla tabella si ricava che il più piccolo valore dei tre diversi campioni di pasta risulta:

1,00 per gli "*An*" (preso come riferimento); 14,85 per le "*Lu*" (valore medio 14,91), 18,87 per le "*Sc*" (valore medio 18,86) (nota 9).

Pertanto, il numero di pezzi corrispondenti alle quantità presenti in una mole, risulta in base alla eqz. 1,

$$x = \frac{1,99}{1} \cong 2;$$

$$y = \frac{14,94}{14,91} \cong 1;$$

$$z = \frac{56,38}{18,86} \cong 3$$

e cioè, 2 per gli *anellini*, 1 per le *lumachine* e 3 per le *scorze di nocelle*.

Pertanto, il composto deve avere formula molecolare " An_2LuSc_3 " che, tenendo conto della natura degli atomi associati ai rispettivi simboli, corrisponde a " H_2CO_3 ".

Occorre puntualizzare che i dati della tabella 5 consentono di ricavare con quasi certezza le masse dei campioni di *Lu*, *Ca* e *Sc*, per i quali sono stati effettuati più combinazioni. Per gli altri formati presenti, *Tu*, *Gn*, *Fu*, i dati disponibili sono insufficienti e occorrerebbe pertanto considerare altre combinazioni contenenti queste specie.

Conclusioni

Il ricorso ad oggetti macroscopici costituiti da pezzi tutti uguali tali da poterli associare alle varie specie atomiche, risulta molto efficace per evidenziare alcune loro specifiche proprietà. In particolare, questi modelli si prestano molto bene ad evidenziare la formazione di composti e ad applicare la procedura di Cannizzaro per ricavare sia la loro formula molecolare che le masse relative delle specie

costituenti. Tra tutte le procedure macroscopiche descritte finora, si ritiene che quella qui riportata meglio si presti a illustrare il percorso e la logica scientifica seguiti nelle assegnazioni delle masse atomiche.

Note

1) La legge asserisce che quando due o più elementi reagiscono per dare un composto, reagiscono sempre secondo dei rapporti in peso definiti e costanti.

2) Il valore della densità relativa (d_R) di un generico composto viene sperimentalmente ottenuto dividendo la massa di un volume noto del composto, per la massa di un ugual volume di idrogeno, misurato nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. Per il principio di Avogadro tra la d_R e il valore di M del composto sussiste la seguente relazione $M = d_R \times 2,016$

3) Per la verifica del metodo i diversi campioni di pasta possono essere combinati in qualunque rapporto. Nel caso in esame abbiamo suggerito ai corsisti di tener conto, nelle combinazioni, delle proprietà degli atomi associati ai vari formati di pasta (Tabella 4).

4) La versione originale del Principio asserisce: *volumi uguali di gas diversi nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione contengono un ugual numero di particelle (moli).*

5) La densità "dc" di un generico composto campione

$$\text{risulta, } dc = \frac{G_{\text{campione}}}{V_{\text{campione}}}$$

Analogamente, quella di un campione di riferimento

$$\text{sarà } dr = \frac{Gr_{\text{riferimento}}}{Vr_{\text{riferimento}}}$$

Nelle condizioni operative, poiché le quantità pesate sono masse di un ugual numero di moli, i loro volumi sono uguali, per cui il rapporto tra le due densità (la densità relativa), è uguale al rapporto delle masse

$$(d_R = \frac{G_{\text{campione}}}{Gr_{\text{riferimento}}})$$

6) Avendo scelto gli *anellini* come specie di riferimento, ad essi si è assegnato massa unitaria $M(A_n) = 1,00$. Avendo, inoltre, supposto che essi diano origine a molecole biatomiche, la loro massa molare sarà uguale a due ($M_R = 2,00$). Per il principio di Avogadro, quindi, il peso molare di un generico composto è dato

$$M_{\text{composto}} = d_R \times 2,00$$

7) Occorre puntualizzare che le masse molari dei vari composti campioni (colonna 7) non cambierebbero nel caso in cui il campione di riferimento di *anellini* fosse stato considerato monoatomico, ovvero formato da singoli pezzi. In questo caso, infatti, ad un dimezzamento della massa molare degli anellini (il suo valore di M , da 2,00, diventerebbe 1,00), corrisponderebbe un raddoppio delle densità relative di tutti i composti (la massa delle 120 moli di riferimento sarebbe di 2,01 g, e non 4,02 g).

8) Poiché i dati delle % in peso indicano le quantità in grammi degli elementi presenti in 100 g di composto, è possibile ricavare i grammi di un generico elemento (Xg) contenuti in una quantità in grammi pari ad M , che rappresenta il suo contributo ad M , per mezzo della seguente proporzione:

$$100 : \% = M : Xg. \text{ Pertanto, } Xg = \frac{\%(\text{specie})}{100} \times M$$

9) Per minimizzare gli errori dovuti alla non perfetta omogeneità dei diversi campioni, come massa relativa di ogni singola specie non abbiamo preso il valore più piccolo, ma il valore medio ottenuto dividendo la somma di tutti i valori presenti per il numero di volte in cui è presente il numero più piccolo. Ad esempio, riferendoci alle *lumachine*, il valore della loro massa relativa di 14,91, è stato ottenuto dividendo per 8 la somma di tutti i valori presenti (119,31).

Bibliografia

- 1) La tabella è stata presa dal testo, "Le Basi della Chimica: atomi e molecole, strutture e reattività". Autore, Potenzo Giannoccaro. Edises 2002, pg. 36.
- 2) E. Roletto, A. Regis, P.G. Albertazzi, *Costruire concetto di mole: un approccio empirico ad un concetto formale*. CnS, XXV, n° 5, 2003, 148-156.
- 3) C. Cottadori, A. Serafini, *Molecole, Moli e...pastine*. CnS, XXII, n° 5, 2000, 169.
- 4) A. Fanizzi, P. Giannoccaro. "Concetto di mole e verifica sperimentale della costanza del numero di atomi o di molecole in essa contenuti con modelli macroscopici" Contributo presentato al convegno "L'Insegnamento della Chimica nella Scuola dell'Autonomia" organizzato dalla Sezione Puglia della Società Chimica Italiana. Bari, 7 Maggio 2004.
- 5) P. Giannoccaro, G. De Siena, G. Iannuzzi, G. Martire, S. Pacifico, M. Pilolli, E. Ressa: I. Sallustio. "Leggi fondamentali della chimica e loro verifica con modelli macroscopici" CnS, XXVII, n° 3, 2005, 65-68.

Per un insegnamento scientifico nella scuola di base che favorisca il pensiero autonomo

ALDO BORSESE

*Dipartimento di chimica e Chimica Industriale, Via Dodecaneso, 31 – Università di Genova
educ@chimica.unige.it*

Premessa

Come è noto, la comunicazione didattica è un caso particolare della comunicazione umana, un processo in cui l'insegnamento è intrinsecamente legato all'apprendimento. Ciò comporta che l'emittente non debba tener conto solo del messaggio che intende trasferire, ma anche dell'effettiva possibilità che l'interlocutore apprenda le informazioni ed i concetti veicolati.

Si tratta di una constatazione solo apparentemente ovvia, sulla quale non si riflette mai abbastanza, neppure nei corsi di didattica.

Una riflessione è, invece, essenziale per individuare le condizioni che possono rendere il processo efficace.

Di qui l'intento di ragionare sulle caratteristiche che l'oggetto della comunicazione dovrebbe assumere perché possa essere appreso in maniera proficua.

Prima di farlo, però, si ritiene indispensabile precisare che si fa riferimento a situazioni didattiche in cui si vogliono veicolare concetti.

A questo proposito è bene ricordare che un "concetto" non risiede nel termine che lo designa, ma si fonda e si sviluppa attraverso l'insieme delle relazioni che lo legano ad altri concetti già noti. Una puntualizzazione necessaria, onde evitare il rischio di considerare l'acquisizione di un concetto equivalente a sapere ripetere la definizione del termine che lo esprime.

Così, se si chiede ad un alunno la definizione¹ di "molecola" e lui risponde, per esempio, "una molecola è la più piccola porzione di materia capace di esistenza fisica indipendente", questo non significa che possieda il concetto di molecola. Possedere il concetto di molecola significa, tra l'altro, essere in grado di riconoscere le condizioni che determinano la sua costituzione, le caratteristiche che la contraddistinguono e le differenti alternative possibili che la materia presenta rispetto a questa tipologia di aggregazione.

Ma per possedere questa "rete di conoscenze" ne sono necessarie altre, quali ad esempio la struttura elettronica degli elementi, le loro proprietà fisico-chimiche, ecc. ecc. Spesso a scuola tutte queste informazioni sono fornite in una breve successione temporale² e si affastellano nella memoria "a breve raggio" degli alunni sotto forma di definizioni e frasi fatte, che i più "diligenti" sapranno ripetere per un tempo più o meno lungo.

Poiché i concetti non sono tutti uguali rispetto alla possibilità di essere acquisiti, nel senso che possono richiedere strutture cognitive più o meno complesse, si potrà concludere che, probabilmente, il concetto di molecola non rappresenta un esempio di concetto di facile acquisizione. Se in qualità di insegnanti ci si preoccupa delle reali capacità di acquisizione dei propri alunni, si sceglieranno concetti che richiedano, per essere effettivamente appresi, conoscenze che gli alunni posseggono o che possono facilmente acquisire³.

"Implicazioni"

I discorsi che conduciamo nella vita di tutti i giorni, gli interventi che realizziamo a scuola con i nostri alunni e studenti, i contenuti proposti dai libri e dagli altri mezzi di comunicazione sono caratterizzati da sottodeterminazione semantica. Tale sottodeterminazione richiede a chi ascolta, a chi legge, a chi fruisce del mezzo l'individuazione di implicazioni, l'effettuazione di inferenze.

Per individuare le implicazioni, gli individui fanno ricorso alle conoscenze che possiedono. Ciò che debbono fare per comprendere è "tradurre" la proposizione espressa (da chi parla, dal libro o da qualunque altro mezzo di comunicazione) in proposizione "implicata". I processi che seguono questo passaggio si chiamano processi pragmatici⁴. Gli individui si servono, quindi, della loro enciclopedia cognitiva per interpretare ciò che leggono e ciò che ascoltano.

¹Sul ruolo ed il significato della definizione sono stati fatti numerosi studi (si vedano, a questo proposito, i riferimenti bibliografici alla fine di questo contributo). Naturalmente nell'ambito delle considerazioni che la coinvolgono in questa pagina, la parola "definizione" viene usata come "sequenza priva di significato concettuale per chi la pronuncia".

²Si fa riferimento, in particolare, alla scuola dell'obbligo. Se si esaminano i testi scolastici nella parte in cui viene trattata la struttura microscopica della materia, si potrà trovare facilmente una conferma.

³Avviare gli allievi all'acquisizione dei concetti e esercitarli a sintetizzarli in una definizione è un'impresa culturale formativa di grande rilievo, ma nella scuola di base occorre partire da situazioni macroscopiche che consentano di fare riferimento alle cosiddette definizioni estensive, cioè alle definizioni che esibiscono l'oggetto menzionato (così un bambino impara ad associare le caratteristiche all'oggetto e questa associazione, se diventa un'esercizio costante a scuola, favorisce la curiosità, l'atteggiamento critico, l'autonomia cognitiva).

⁴Per chi fosse interessato alla pragmatica del linguaggio, si ricordano gli studi di Grice che ha dato un contributo importante nell'ambito della relazione tra intenzioni, significato e comunicazione.

Le implicazioni, le inferenze richieste dai messaggi che ci vengono proposti non sono tutte eguali: possono richiedere "più o meno teoria". Alcune implicazioni, per essere individuate, necessitano il ricorso a conoscenze che sono possedute praticamente da tutti, poiché acquisite nella vita quotidiana fin dai primi anni d'età, mentre per altre si rende necessario il possesso di conoscenze particolari, acquisibili solo in contesti specifici.

I messaggi proposti a scuola richiedono quasi sempre il secondo tipo di implicazioni. A questo gli insegnanti e, più in generale, gli educatori dovrebbero sistematicamente porre attenzione, quando interagiscono con alunni e studenti.

Se ai nostri alunni, ai nostri studenti occorre il possesso di requisiti che essi non hanno, perché possano comprendere ciò che proponiamo, il messaggio arriverà loro distorto o non arriverà affatto.

Pertanto, se il nostro scopo è farci capire, occorrerà lavorare per evitare che questo succeda.

L'insegnante, da "equilibrista" a educatore

Le precedenti considerazioni sono volte all'esigenza di tenere in conto le reali possibilità di apprendimento degli alunni.

All'insegnante viene, però, richiesto di svolgere il programma ministeriale previsto per la sua materia e si presenta la necessità di individuare un equilibrio, a volte molto difficile, tra ciò che la legge impone e ciò che suggerirebbe il buon senso; a maggior ragione se si considera l'interpretazione dei programmi espressa nei testi scolastici. Questi presentano una scienza tutta dogmi e verità assolute e non offrono, in genere, alcuna possibilità di riflessione a chi li legge. I contenuti scientifici vengono presentati nella loro dimensione specialistica e ciò che propongono viene imparato necessariamente a memoria; si fa largo uso di asserzioni, di definizioni e le argomentazioni e le spiegazioni fornite per sostenerle sono del tutto insufficienti a generare la concettualizzazione.

Occorrerebbe che le definizioni, almeno a livello di scuola dell'obbligo, non rispondessero ad un'esigenza di caratterizzazione formale, ma assumessero un significato concretamente operativo, come espressione del significato costruito attraverso il percorso didattico realizzato in classe. E l'introduzione dei termini dovrebbe avvenire, diversamente da quanto succede nei testi scolastici, solo quando l'allievo ha acquisito gli strumenti che gli consentono di comprenderli.

Porsi in una dimensione riflessiva e ragionare sul proprio ruolo farà riaffiorare nell'insegnante la consapevolezza che il compito che svolge è molto più ampio e complesso del trasferire contenuti disciplinari e, soprattutto nella scuola dell'obbligo, l'atteggiamento che assumerà nei confronti dell'insegnamento e dell'apprendimento, il suo modo di lavorare e di fare lavorare, avrà un'influenza rilevante sui futuri atteggiamenti dei suoi alunni.

La consapevolezza della responsabilità che il proprio ruolo comporta facilita l'assunzione di una visione

dell'insegnamento meno interna alla disciplina - oggetto del proprio insegnamento. Essa conduce l'insegnante a perseguire non solo obiettivi disciplinari ma anche obiettivi trasversali, a lavorare non solo per fare acquisire ai propri alunni concetti ed informazioni, ma anche quelle abilità di base che saranno loro indispensabili successivamente, per affrontare proficuamente la dimensione specialistica delle scienze moderne.

L'insegnante "educatore" non trascura i contenuti disciplinari, non mette da parte il programma ministeriale, bensì riconosce su quali contenuti puntare, tenendo conto della loro significatività nella disciplina al livello a cui intende trattarli, della loro funzionalità al raggiungimento dei concetti e delle abilità che intende perseguire, e su di essi lavora e fa lavorare gli alunni.

Il suo ruolo si concreta nella messa a punto e, successivamente, nel coordinamento di un percorso didattico in cui è l'alunno in prima persona, individualmente o in gruppo, che attivamente costruisce il suo sapere e le proprie competenze.

L'alunno: dalla dipendenza all'autonomia cognitiva

L'alunno verrà impegnato in un lavoro sistematico scritto, orale e di progettazione e realizzazione di esperimenti, dovrà mettere in gioco ciò che sa già, confrontarlo con il sapere dei suoi compagni, riflettere sulle abilità che utilizza, trarre conclusioni e discuterle. Il coinvolgimento emotivo e cognitivo sarà inevitabile.

Se si considera quel che normalmente succede a scuola, il cambiamento proposto rispetto al ruolo dell'alunno è notevole! Abituato ad essere "mentalmente" assente, a ripetere ciò che l'insegnante vuole senza necessariamente comprendere, egli si troverà improvvisamente protagonista della propria crescita culturale.

Quanto prima si riuscirà a rendere l'allievo consapevole delle competenze che starà sviluppando grazie a questo modo di lavorare, tanto più rapido sarà il suo coinvolgimento emotivo e cognitivo.

In genere, il vissuto scolastico precedente non è d'aiuto allo studente che si avvia a divenire protagonista del proprio percorso di apprendimento.

La maggior parte delle esperienze scolastiche è caratterizzata da frequenti momenti in cui si chiede all'alunno di rimanere in silenzio, seduto al proprio banco mentre l'insegnante di turno legge pagine di testo scolastico o spiega qualcosa, alternati a momenti in cui gli si chiede di ripetere l'esecuzione di compito assegnato.

Naturalmente esistono esperienze differenti.

Si incontrano insegnanti che cercano di tenere in conto le più recenti teorie psicopedagogiche e presentano esperienze, fanno lavorare i ragazzi in prima persona, cercano di coinvolgerli avvicinando ciò che insegnano alla vita quotidiana, lavorano per riconoscere le rappresentazioni mentali degli allievi su certi concetti, li invitano a costruire mappe concettuali.

I vissuti scolastici dei loro alunni risultano certamente differenti, se confrontati con quelli dei ragazzi che hanno

incontrato un insegnamento cosiddetto tradizionale. Considerando la qualità dei processi di apprendimento generati, però, questa differenza è spesso solo apparente. In particolare, riferendomi agli insegnanti che utilizzano molto il laboratorio, vorrei mettere in guardia dal credere che la sola presenza di esperienze, il frequente invito rivolto ai ragazzi ad operare per verificare le asserzioni dell'insegnante o del testo scolastico forniscano di per sé un marchio di scientificità a ciò che viene proposto⁵, soprattutto se i contenuti presi in considerazione, i concetti coinvolti sono inaccessibili ai ragazzi cui vengono proposti. Gli argomenti da trattare debbono essere scelti in considerazione da una parte dell'età degli allievi, dall'altra della necessità di fornire strumenti di base utili a progettare una costruzione di sapere a lungo termine. Competenze metodologiche adeguate possono, infatti, essere acquisite da chi apprende solo se vengono utilizzati contenuti a sua misura.

Il nostro insegnante "educatore" possiede, nella disciplina oggetto del suo insegnamento, competenze epistemologiche tali da non fargli correre il rischio di proporre ai suoi alunni contenuti cognitivamente inadeguati.

Conclusione

Non si tratta, dunque, di limitarsi ad inseguire la "moda pedagogica" del momento e di rincorrere gli interessi e le motivazioni degli studenti. Semplicemente, occorre assumere la prospettiva di far lavorare i ragazzi su contenuti che non presentino per loro ostacoli cognitivi ed essere coscienti che la dimensione formativa della disciplina che si insegna non va considerata esaurita quando si sono fatti acquisire alcuni concetti fondanti, ma deve potersi estendere oltre.

L'utilizzo riflessivo di alcuni suoi contenuti, infatti, può avviare gli studenti ad abilità di base importanti e ad un loro utilizzo consapevole. Si può constatare come non venga ridimensionata l'importanza del metodo. Si ritiene, anzi, che le potenzialità formative dell'approccio didattico suggerito siano fondate sul rigore metodologico, sulla costruzione una sequenza di fasi di lavoro che implicano un coinvolgimento continuo e sistematico degli studenti.

A differenza di altre proposte basate esclusivamente sul metodo, si ritiene qui indispensabile scegliere i contenuti adatti, proprio per garantire l'efficacia dello stesso.

La scelta, come già traspariva all'inizio del contributo, va nettamente nella direzione di una dimensione educazionale

le della didattica, privilegiando la riflessione ed un modo di far lavorare gli alunni che, senza prevedere necessariamente l'utilizzo di strumenti e di materiale da manipolare, li impegna in attività alla loro portata e li conduce a riconoscere le abilità che sono invitati a mettere in gioco. Il sistematico esercizio della lingua scritta favorisce il miglioramento delle loro capacità espressive, il confronto delle loro idee con quelle dei compagni, l'intervento puntuale dell'insegnante che può anche disporre nel tempo di una sequenza di elaborati individuali e di gruppo che gli facilitano l'individuazione di punti critici, l'utilizzazione di spunti interessanti, il riconoscimento dei miglioramenti dei suoi alunni.

In conclusione, ecco riassunte in sintesi le caratteristiche della mia proposta educativa:

a. si vogliono far acquisire agli allievi non solo alcuni concetti disciplinari, ma anche alcune abilità di base;

b. i concetti disciplinari considerati fanno parte del programma scolastico e, tra quelli funzionali a far acquisire un certo numero di abilità di base, sono i meno carichi di teoria;

c. si procede attraverso una sequenza di fasi di lavoro. In generale:

- introduzione di un tema attraverso una esperienza o un intervento dell'insegnante o la presentazione di materiale

- una domanda sul tema considerato nella fase precedente cui gli allievi debbono rispondere individualmente per scritto

- lavoro in piccoli gruppi, in cui gli allievi confrontano le risposte fornite nel compito individuale per giungere, quando è possibile, ad un'unica risposta condivisa, sempre per scritto

- una discussione generale sul tema introdotto che prevede la presentazione delle risposte dei gruppi per pervenire ad una conclusione condivisa.

d. in alcuni casi agli allievi può essere richiesto di verificare sperimentalmente (generalmente attraverso un lavoro che coinvolge tre, quattro compagni) le conclusioni tratte entro il proprio gruppo di attività o emerse nel corso della discussione conclusiva.

Il lavoro risulta organizzato in modo tale che ogni singolo allievo possa venire sistematicamente coinvolto attraverso l'alternanza di prove di lavoro scritto, orale e manuale. Uno specifico spazio temporale sarà dedicato, inoltre, a far riflettere gli allievi sulle abilità e sulle informazioni utilizzate nello svolgimento delle attività⁶ proposte.

⁵ Si attribuisce all'esperienza pratica diretta un ruolo non solo essenziale ma addirittura centrale nel processo di formazione scientifica. Alla base di questa credenza c'è la fiducia, del tutto ingiustificata, che il contatto stesso con la realtà pratica dia di per sé una garanzia di legittimità alle nozioni impartite dall'insegnante e renda più proficuo e facile lo studio dell'allievo. L'errore di fondo che si nasconde in tale modo di concepire l'attività del laboratorio è il seguente: si assumono certi fatti sperimentali come evidenze assolute, come punti di partenza, senza mostrare agli allievi che l'esperienza pura non esiste, che l'esperienza è sempre concettualizzata, che le osservazioni riguardanti i fatti sperimentali sono sempre interpretazioni alla luce della teoria. L'allestimento e l'esecuzione della più semplice esperienza di laboratorio è un'attività che non solo presuppone un pensiero teorico, ma trae dalla teoria il suo significato e la sua ragion d'essere.

Invece di far prendere coscienza agli allievi di questa verità, si insiste ad insegnare che la conoscenza parte dall'osservazione e che le teorie sono fondate sui fatti; ci si adopera, con un procedimento illusorio quanto illogico, ad abituare gli allievi all'osservazione come se questa fosse un atto puro, primario, e non implicasse esplicite o implicite asserzioni teoriche.

⁶ Si potrebbe definire questa didattica "laboratoriale", dove "laboratorio" viene inteso in una accezione più ampia, come uno strumento polivalente in cui l'attività manuale, l'osservazione sono solo due delle possibili componenti

Questa dimensione riflessiva e metacognitiva, secondo il mio punto di vista, conduce l'insegnante ad un comportamento funzionale alla realizzazione di una didattica autenticamente formativa.

Bibliografia

- 1) Abruzzese, A. (2003), *Lessico della comunicazione*, Meltemi, Roma.
- 2) Anolli, L. (2002), *Psicologia della comunicazione*, Società editrice il Mulino, Bologna.
- 3) Bostrom, R.N. (1990), *La persuasione*, Nuova ERI/Edizioni RAI, Torino.
- 4) Bourdieu, P. (1988), *La parola e il potere*, Guida, Napoli.
- 5) Brint, S. (1999), *Scuola e società*, Società editrice il Mulino, Bologna.
- 6) Chomsky, N. (1989), *La conoscenza del linguaggio*, Il Saggiatore, Milano.
- 7) Cimatti, F. (1999), *Fondamenti naturali della comunicazione in Manuale della comunicazione* a cura di S. Gensini, Carocci editore, Roma.
- 8) Fiorani, E. (1998), *Grammatica della comunicazione*, Lupetti, Milano.
- 9) Foucault, M. (1972), *L'ordine del discorso*, Einaudi, Torino.
- 10) Gensini, S. (1999), *Manuale della comunicazione*, Carocci editore, Roma.
- 11) Grice, H.P. (1978), *Logica e conversazione in Gli atti linguistici* a cura di M. Sbisà, Feltrinelli, Milano.
- 12) Innis, H. (1982), *Le tendenze della comunicazione*, SugarCo, Milano.
- 13) Maneri, M., *L'analisi del contenuto*, in Biorcio, R., Maneri, M., Pagani,
- 14) McLuhan, M. (1986), *Gli strumenti del comunicare*, Garzanti, Milano.
- 15) Morcellini, M. (2004), *La scuola della modernità. Per un manifesto della media education*, Franco Angeli, Milano.
- 16) Ogden, C.K. e Richards, I.A. (1923), *The Meaning of Meaning*, Routledge and Kegan Paul, London, 1985.
- 17) Peirce, C.S. (1980), *Semiotica. I fondamenti della semiotica cognitiva*, Einaudi, Torino.
- 18) Pettigiani, M.G., Sica, S. (1993), *La comunicazione interumana*, Franco Angeli, Milano.
- 19) Rosengren, K.E. (2001), *Introduzione allo studio della comunicazione*, Società editrice il Mulino, Bologna.
- 20) Watzlawick, P., Beavin, J.H., Jackson, D.D. (1971), *Pragmatica della comunicazione umana*, Astrolabio, Roma.
- 21) Anderson, R.C. and Kulhavy, W. (1972), *American Educational Research Journal*, vol. 9, n.3, pp.385-390.
- 22) Bramki, D. and Willimas, R. (1984), *Lexical familiarization in economics text books, Reading in a Foreign Language 2/1*, pp.169-181.
- 23) Darien, S. (1981), *The role of definitions in scientific and technical writing: forms, functions and properties, English Language Research Journal*, 2, pp.41-56.
- 24) Dewey, J. (1989), *Cómo pensamos: nueva exposición entre pensamiento y proceso educativo*, Barcelona, Paidós.
- 25) Ennis, R.H. (1974), *Definition in Science Teaching, Instructional Science*, 3, pp.285-298.
- 25) Flowerdew, J. (1992), *Definitions in science lectures, Applied Linguistics*, vol. 13, n.2, pp.202-221.
- 27) Kripke, S. (1982), *Nome e Necessità*, Torino, Boringhieri
- 28) Lumbelli, L. (1982), *Psicologia dell'educazione, I, La comunicazione*, Bologna, Il Mulino.
- 29) Lumbelli, L. (1984), *Per una diagnosi della comprensibilità*, in *Riforma della Scuola*, n.3, pp.23-32.
- 30) Peruzzi, L. (1997), *Definizione*, Scandicci (Firenze), La Nuova Italia.
- 31) Porcelli, G. et altri (1990), *Le lingue di specializzazione e il loro insegnamento*, Milano, Vita e Pensiero.
- 32) Porlan, R., Rivero A., Del Pozo M.R. (1997), *Conocimiento Profesional y epistemología de los profesores, I, Enseñanza de las ciencias*, vol.15, pp. 271-288.
- 33) Swales, J. (1981), *Definitions in Science and Law. Evidence for subject-specific course components, Fachsprache* 81/3, pp. 106-112.

CHIMICA E BIOLOGIA MOLECOLARE: due facce della stessa medaglia – Parte III¹

ALESSANDRA BARBIN

Istituto Tecnico Commerciale Statale 'Rosa Luxemburg', Via dalla Volta 4 – 40131, Bologna.
alessandrabarbin@libero.it

Riassunto

Il presente è l'ultimo di tre contributi inerenti la realizzazione di un progetto didattico trasversale volto ad approfondire i processi chimico-fisici coinvolti nell'isolamento e nella purificazione della proteina fluorescente GFP (*Green Fluorescent Protein*).

In questo percorso si è cercato di mettere in luce come l'utilizzo sinergico di diverse metodologie didattiche, tra cui la pratica di laboratorio e l'utilizzo di strumenti multimediali, permetta al docente di rendere realmente formativo il proprio lavoro grazie ad una migliore individualizzazione del proprio insegnamento. Attualmente, ai docenti è richiesta infatti una professionalità sempre più attenta agli aspetti metodologico-didattici dell'insegnamento affinché questo possa armonizzarsi al meglio con i differenti stili di pensiero dei discenti.

Abstract

This is the last of three articles, which is part of an interdisciplinary project aiming to a better understanding of the chemical-physical processes involved in the isolation and purification of the Green Fluorescent Protein (GFP).

The synergic use of different didactic tools has been given emphasis and verification in the project. In particular the use of the lab together with multimedia systems allowed the teachers to really improve their work, making the lessons more lively and formative. Italian teachers today are asked to be more professional. They are requested to update their teaching approaches which should be adapted to the different learning attitudes of their students.

Introduzione

Abitualmente, si tende a pensare che nell'insegnamento ci sia uno stretto rapporto tra forma e contenuto e che un certo argomento sia da collegare in modo quasi ineluttabile a una qualche teoria didattica privilegiata, a prescindere dalle predisposizioni cognitive degli allievi.

R. J. Sternberg, al contrario, nel suo libro *Stili di pensiero*, invita gli insegnanti a tentare tutte le strategie possibili, indipendentemente dalla teoria pedagogico-didattica in voga, dalle discipline insegnate e dai rapporti codificati tra esse, al fine di permettere un'adeguata interazione tra didattica e disposizione mentale dei discenti per la realizzazione di un efficace percorso formativo. Anche la di-

saffezione e il mancato impegno che alcuni studenti mostrano per il lavoro scolastico potrebbe essere attribuito, sempre secondo l'autore, a una profonda discordanza tra la metodologia seguita dall'insegnante e lo stile di pensiero dell'allievo, definito come "un modo di pensare preferito... il modo in cui usiamo le abilità che abbiamo". In tal senso, è quindi opportuno che il docente si renda conto che non esiste "il metodo giusto" e che nemmeno "si tratta di optare per un metodo particolare, quanto piuttosto di scegliere e organizzare una varietà di metodi, proprio perché diversi sono i tipi di obiettivi da raggiungere e, non ultimo, perché non tutti gli alunni apprendono nel migliore dei modi attraverso gli stessi metodi" (Tartarotti L., pag. 145).

Solo una pratica sinergica di tutte le numerose strategie didattiche a disposizione del docente (tra cui ricordiamo la lezione frontale dialogata, il lavoro di gruppo quale la pratica di laboratorio, le uscite didattiche, l'utilizzo di strumenti multimediali) può garantire all'insegnante di riuscire nel suo intento, strutturando un reale dialogo con la classe e con i singoli studenti e permettendogli, al contempo, di rendere effettivamente formativo il suo lavoro, individualizzando in modo corretto il suo insegnamento.

In questo ultimo contributo si è inteso riproporre l'intervento conclusivo del percorso didattico realizzato con una classe quarta "tradizionale" del Liceo Scientifico Statale 'A. Righi' di Bologna, volto all'analisi e all'approfondimento dei processi chimico-fisici coinvolti nell'isolamento e nella purificazione della proteina fluorescente GFP (*Green Fluorescent Protein*).

In accordo con quanto appena espresso, per tale intervento didattico si è deciso di utilizzare una videoproiezione animata mediante il programma PowerPoint, nella convinzione che tale metodologia avrebbe consentito di esporre i nuovi concetti con il supporto della proiezione simultanea di immagini, utili sia alla spiegazione, sia a fissare in modo più efficace le nozioni nella memoria degli studenti.

La videoproiezione è stata comunque preceduta da una lezione introduttiva sulle tecniche cromatografiche, finalizzata a fornire agli studenti i prerequisiti necessari a comprendere gli aspetti chimico-fisici in esame.

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

Premessa metodologico-didattica

Prima di introdurre una descrizione a livello elementare della tecnica cromatografica su colonna, si ritiene opportuno inquadrare l'argomento anche da un punto di vista storico, allo scopo di sottolineare la stretta connessione esistente tra scienza e tecnologia e come la costruzione della conoscenza scientifica sia un cammino aperto in continuo divenire. La formulazione di nuove teorie non è, infatti, solo frutto di menti capaci di cogliere aspetti che sfuggono alla maggior parte degli uomini, ma anche delle tecnologie di cui si dispone in una determinata epoca storica.

All'inizio del '900 l'introduzione di numerose tecniche e strumentazioni chimico-fisiche ha segnato il superamento della chimica classica, il cui patrimonio conoscitivo era basato integralmente sull'indagine dei fenomeni a livello macroscopico. Tuttavia, "che la chimica classica fosse in grado di proiettare le proprie procedure conoscitive nel futuro della chimica contemporanea è testimoniato dallo sviluppo delle tecniche cromatografiche ed elettroforetiche, in cui la separazione di sostanze avviene attraverso l'interazione con altre sostanze – secondo il modello epistemologico classico" (Cerruti L., pag 276). La tecnica cromatografica in particolare, scoperta nel 1906 dal botanico russo M. S. Tswett che la sfruttò per la separazione di una miscela di pigmenti vegetali, è divenuta nell'arco dell'ultimo secolo un'importante tecnica d'indagine in tutti i campi di ricerca, dalla chimica alla biologia. A tale proposito si ritiene utile citare anche le scoperte effettuate da Martin in relazione alla vitamina E, sconosciuta fino al 1933, la risoluzione della composizione in amminoacidi delle proteine della lana da parte di Syngé e dello stesso Martin (1940), sino al chiarimento (1955) della struttura primaria dell'insulina ad opera di F. Sanger (insignito del Premio Nobel nel 1958 proprio in relazione a questo studio, che non avrebbe potuto nemmeno essere avviato senza l'esistenza delle tecniche cromatografiche).

Questo breve *escursus* storico si reputa che possa inoltre contribuire a mettere in evidenza l'importanza che ricoprono, nella figura dello scienziato, così come di qualsiasi individuo, "l'apertura mentale e personale e la capacità di favorire la circolazione delle idee senza riserve mentali ed eccessi di competizione" (Cerruti L., pag 280).

Lezione introduttiva sulle tecniche cromatografiche

In questa prima lezione sono state introdotte alcune nozioni generali sulla tecnica cromatografica, al fine di poter approfondire, nel successivo incontro, quella ad interazione idrofobica (HIC) utilizzata nell'esperienza svolta al "Life Learning Center" (LLC).²

Dopo aver fornito una generica definizione di cromatografia³, è stato introdotto il concetto di coefficiente di ripartizione. Tutti i processi cromatografici sono infatti governati dalla Legge di ripartizione di Nernst, secondo la

quale un soluto che si trova a contatto con due diversi solventi, all'equilibrio, si ripartisce fra questi in base ad un rapporto K costante che dipende dalle concentrazioni di equilibrio negli stessi:

$$K = C_x/C_y$$

dove C_x e C_y stanno ad indicare le rispettive concentrazioni di equilibrio nei due solventi. Poiché i valori di K , per una data coppia di solventi, variano da sostanza a sostanza, il fenomeno di ripartizione risulta selettivo.

Di seguito, è stato quindi definito il concetto di fase stazionaria o fissa e di fase mobile, la cui scelta viene effettuata in modo tale che i composti che devono essere separati abbiano, rispetto a queste, diversi coefficienti di ripartizione.

Nell'introdurre le due tecniche di base attraverso cui può essere realizzata una separazione cromatografica, cromatografia su strato sottile o planare e cromatografia su colonna, l'attenzione è stata focalizzata su quest'ultima, trattandosi di uno dei metodi di separazione più comunemente utilizzati. Tale procedimento è caratterizzato da una fase stazionaria, fissata ad un supporto inerte e insolubile (matrice) e impaccata in una colonna di vetro o di metallo, e da una fase mobile che attraversa la colonna principalmente per gravità. Questa tecnica cromatografica viene distinta in differenti forme in funzione dei meccanismi di base (adsorbimento, ripartizione, scambio ionico, esclusione molecolare, ecc., definiti il processo cromatografico stesso) che caratterizzano l'interazione di ciascun analita con le relative fasi mobili e stazionarie.

Poiché, nell'esperienza di purificazione della proteina GFP, gli studenti avevano utilizzato una colonna cromatografica ad interazione idrofobica², tipo particolare di cromatografia liquida di adsorbimento, si è ritenuto necessario descrivere più in dettaglio il processo relativo.

All'interfaccia di alcune coppie di fasi, quali ad esempio quella solido-liquido di una soluzione, può stabilirsi un gradiente di concentrazione dei soluti nella fase liquida in prossimità della superficie del solido. Questo fenomeno, detto adsorbimento, è dovuto ad una particolare azione attrattiva che la fase solida esercita sulle molecole dei soluti, le quali risultano così trattenute mediante interazioni intermolecolari (forze di Van der Waals, interazioni idrofobiche, legami a idrogeno, ecc.).

Ne consegue che il concetto di ripartizione sopra riportato può essere esteso (in senso lato) anche al meccanismo di adsorbimento, poiché la sostanza in esame si ripartisce secondo un ben preciso equilibrio fra la fase di trasporto e la fase solida adsorbente. In tal modo, anche questo fenomeno, dipendente dalla temperatura e dalla concentrazione dei soluti, risulta selettivo.

²A riguardo si rimanda al precedente articolo ("Chimica e biologia molecolare: due facce della stessa medaglia – Parte I") di Alessandra Barbin – CnS, anno XXVIII, n° 1, 2006: pp. 30-40.

³A.J.P. Martin, insignito del Premio Nobel per la chimica nel 1952, ha definito la tecnica cromatografica come "Percolazione uniforme di un fluido attraverso una colonna di sostanza più o meno finemente suddivisa, capace di ritardare, con qualunque mezzo, determinate componenti del fluido".

La generica descrizione di una colonna cromatografica, dando particolare rilievo alle differenti tipologie di matrici (agarosio, cellulosa, destrano, poliacrilammide, polistirene e silice) e di fasi stazionarie utilizzabili, ha poi consentito di riprendere in esame la colonna cromatografica utilizzata dai ragazzi al LLC. In questa, la matrice era costituita da microscopiche particelle sferiche di silice e la fase stazionaria da ligandi metilici apolari.

A conclusione della lezione, recuperando i concetti appena esposti in relazione al meccanismo di adsorbimento, sono state delinestate le principali caratteristiche della cromatografia ad interazione idrofobica (HIC), preannunciandone una più dettagliata spiegazione nel successivo incontro.

Videoproiezione: la cromatografia ad interazione idrofobica (HIC)

Dopo la descrizione e l'analisi delle principali caratteristiche sia della proteina GFP⁺ sia delle principali tecniche cromatografiche, è stata esaminata più in dettaglio la tecnica HIC mediante la quale tale proteina era stata purificata durante l'esperienza al LLC².

La lezione è stata introdotta con la definizione generale di cromatografia ad interazione idrofobica (HIC) quale metodica di laboratorio utilizzata per la purificazione e la separazione di proteine sulla base delle loro differenti caratteristiche di idrofobicità superficiale. La HIC è solo una delle molte tecniche cromatografiche esistenti e, più in specifico, costituisce un tipo particolare di cromatografia liquida di adsorbimento: procedura basata sul principio che alcuni materiali solidi, noti nell'insieme come adsorbenti, hanno la capacità di trattenere molecole alla loro superficie. Il termine "liquida" dipende dal fatto che le componenti del campione vengono separate dal continuo passaggio di una specifica soluzione (fase mobile) attraverso la matrice (fase fissa) della colonna. Una delle principali caratteristiche positive di tale tecnica è che essa consente di adsorbire e purificare le molecole proteiche nella loro forma nativa (attiva), senza cioè provocarne la denaturazione (si veda oltre) in nessuno stadio del procedimento.

Prima di passare all'analisi più dettagliata della tecnica in questione, sono stati riproposti alcuni concetti di base, quali la definizione di sostanza idrofila e idrofoba e di interazioni molecolari (interazione dipolo-dipolo, interazione dipolo istantaneo-dipolo indotto, interazione ione-dipolo, legame a idrogeno), ed è stato spiegato ai ragazzi il fenomeno detto di interazione idrofobica. Sono state così mostrate alcune diapositive nelle quali erano schematizzate, rispettivamente, una generica separazione delle molecole in funzione della loro polarità (Fig. 1) e il meccanismo di interazione tra queste e le molecole di acqua con particolare riguardo al legame a idrogeno (Fig. 2). In riferimento a queste nozioni si è cercato, in particolar modo, di far comprendere che non

esiste un confine netto tra caratteristiche idrofobiche e idrofiliche, ma che si riscontra piuttosto una situazione di progressiva continuità tra queste. È stato inoltre ripreso in considerazione il concetto di solvatazione di uno ione o di una molecola polare, ridefinendolo come il processo volto alla formazione di uno strato di molecole di acqua, simile ad una "gabbia", intorno alla superficie di una particella recante una carica intera o parziale. In modo simile, è stata riconsiderata anche la distribuzione dei dipoli delle molecole di acqua all'interno del ghiaccio e di un volume di acqua liquida pura.

²Il termine *idrofilico* significa "amante dell'acqua" ed è assegnato alle molecole che interagiscono facilmente con l'acqua attraverso interazioni deboli di tipo dipolo-dipolo o legami a idrogeno.

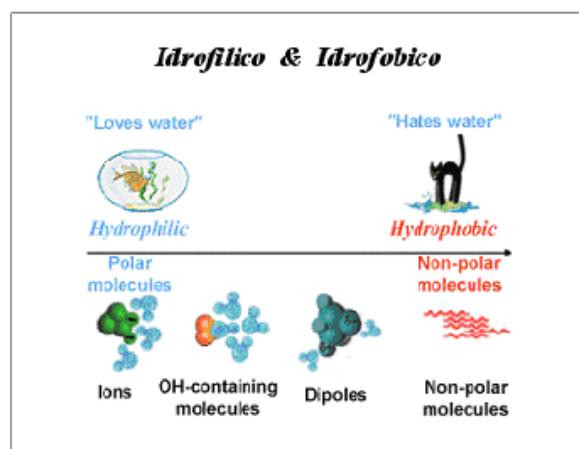


Figura 1

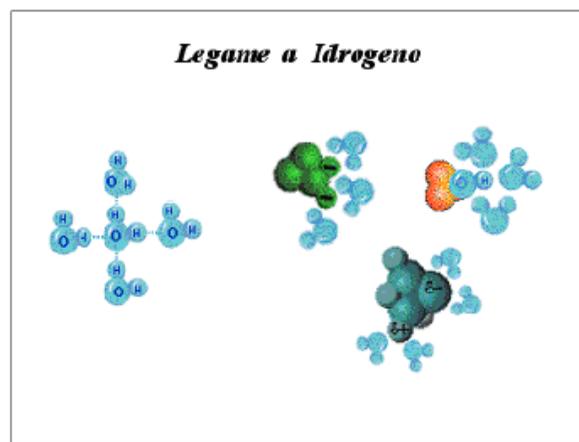


Figura 2

¹A riguardo si rimanda al precedente articolo ("Chimica e biologia molecolare: due facce della stessa medaglia - Parte II") di Alessandra Barbin - CnS, anno XXVIII, n° 3, 2006: pp. 154-162.

²Nel presente paragrafo l'uso del carattere corsivo ha lo scopo di evidenziare i commenti verbali alle diapositive presentate nella videoproiezione, mentre la sottolineatura indica le parole chiave principali.

Al contrario, il termine *idrofobico* significa "che odia l'acqua" ed è assegnato alle molecole che non interagiscono o interagiscono pochissimo con l'acqua. In realtà, non esiste un confine netto tra caratteristiche idrofiliche e idrofobiche, ma si riscontra piuttosto un continuum di idrofilicità (o idrofobicità) tra sostanze diverse. In altre parole, non esistono solo molecole completamente idrofiliche o idrofobiche, ma tra questi due estremi si osserva una situazione di continuità in cui tali caratteristiche coesistono in proporzioni diverse. Così, nella direzione di una progressiva diminuzione delle proprietà polari, accanto agli ioni, particelle idrofiliche (o polari) per eccellenza, si ritrovano sostanze contenenti uno o più gruppi polari (come, ad esempio, alcoli a basso peso molecolare o (poli-) fenoli semplici che presentano uno o più gruppi $-OH$), quindi composti con caratteristiche dipolari e infine le molecole idrofobiche (o non polari).

Quando queste diverse molecole sono poste in acqua esse vengono più o meno intensamente solvate, ossia circondate da un gruppo più o meno esteso e numeroso (in funzione della quantità di carica e delle dimensioni del gruppo carico) di dipoli di acqua che interagiscono con le porzioni polari del soluto grazie a legami deboli (non covalenti) (disegni nella parte destra della Figura 2). La solvatazione può essere visualizzata come il processo volto alla formazione di uno strato di molecole di acqua, simile ad una "gabbia", intorno alla superficie di una particella recante una carica intera o parziale. I dipoli delle molecole d'acqua si orientano quindi in modo da presentare le loro parziali cariche positive o negative verso, rispettivamente, le porzioni negative o positive dei composti ionici o molecolari polari, mantenendo tali posizioni in funzione delle attrazioni tra cariche opposte. Le molecole di H_2O vicine, grazie alle loro proprietà dipolari, hanno inoltre un'elevata tendenza ad interagire tra loro mediante legami a idrogeno (disegno nella parte sinistra della Fig. 2): la regione carica positivamente di un dipolo si orienta in modo da contrapporsi alla regione carica negativamente di un altro dipolo posto nelle sue vicinanze. Mentre nel ghiaccio i dipoli delle molecole d'acqua formano 4 ponti a idrogeno con altrettante molecole circostanti, nell'acqua liquida il numero di tali interazioni diminuisce ad un valore medio di 3,4.

In riferimento alla specifica distribuzione dei dipoli delle molecole di acqua all'interno di un volume di acqua liquida pura, è stata quindi sottolineata la differenza sostanziale che si riscontra tra l'interno della massa d'acqua, ove la maggior parte delle molecole del liquido, egualmente attratte in tutte le direzioni, si riunisce a costituire gruppi o *clusters* con emivita molto breve, e la sua superficie, dove invece, a causa di una distribuzione non omogenea dei dipoli di acqua, si manifesta il fenomeno della tensione superficiale. A tale proposito, si è ricordato anche che la diversa forma che può assumere il menisco alla superficie di un liquido è dipendente dalle proprietà polari del liquido stesso e del recipiente in cui esso è

contenuto.

All'interno della massa liquida la maggior parte delle molecole di H_2O si riunisce in gruppi o *clusters* in seguito alla formazione tra queste di legami a idrogeno: ciascun dipolo forma infatti, come già detto, ponti a idrogeno con una media di 3,4 molecole adiacenti, risultando in tal modo attratta in maniera pressoché identica in tutte le direzioni. Sebbene la vita media di ciascun gruppo sia molto breve, l'effetto netto è quello di una coesione estremamente forte tra le molecole di acqua, che si rispecchia, ad esempio, nell'alto punto di ebollizione di questa sostanza.

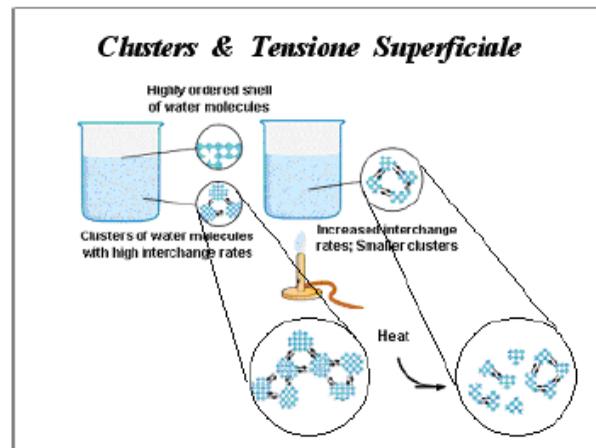


Figura 3

Al contrario, all'interfaccia aria-acqua le molecole di acqua si sistemano a costituire una struttura altamente ordinata. Qui, infatti, la possibilità di formare legami a idrogeno non è più bilanciata, ma è dominata dal lato liquido dell'interfaccia: ciascuna molecola posta alla superficie della massa liquida risente solo delle attrazioni provenienti dal basso e dai lati, ma non dalla porzione superiore che risulta occupata dall'aria. Ciascun dipolo formerà quindi solo 3 ponti idrogeno con le molecole immediatamente adiacenti.

L'effetto di questa distribuzione non omogenea di interazioni si manifesta con l'attrazione dei dipoli più esterni verso l'interno del liquido che, in tale zona, è costretto ad assumere la forma con la minima area superficiale e quindi energeticamente più stabile, ossia quella sferica. Tutto ciò, in definitiva, dà origine ad una struttura estremamente ordinata che si manifesta come forte tensione superficiale. Volendo aumentare la superficie del liquido occorre che le molecole si muovano dall'interno della massa acquosa verso la superficie; tuttavia questo spostamento richiede energia poiché si devono vincere alcune forze intermolecolari. La resistenza di un liquido all'aumentare della propria superficie è detta tensione superficiale. Liquidi con forze intermolecolari abbastanza grandi, come ad esempio l'acqua, tendono a presentare alte tensioni superficiali (Fig. 3).

A livello della massa liquida, le molecole d'acqua raggruppate in clusters in realtà si trovano in uno stato di equilibrio dinamico con le molecole d'acqua "libere": in altre parole ciascun dipolo tende ad entrare ed uscire continuamente dai clusters presenti, esistendo per tempi brevissimi come molecola non associata a nessun gruppo particolare e quindi "libera". Un aumento di temperatura sposta tale equilibrio verso la forma "libera" e induce la formazione di gruppi più piccoli che presentano un più alto tasso di scambio delle molecole di acqua tra loro.

Il passaggio logico successivo è stato quello di comprendere cosa accade quando una sostanza non polare, ad esempio una certa quantità di olio, viene aggiunta a dell'acqua pura. Affinchè i ragazzi potessero intuire più facilmente il fenomeno, si è deciso di ricorrere a un semplice esempio.

È stata così proiettata un'immagine raffigurante un recipiente chiuso, "fotografato" in diversi istanti successivi, contenente una data quantità di olio e di acqua distillata. Con l'intento di coinvolgere attivamente la classe nella lezione, si è domandato se qualcuno poteva descrivere brevemente cosa accade quando un tale contenitore viene agitato con vigore. A partire dalla discussione che ne è seguita, abbiamo potuto così introdurre i concetti di fasi immiscibili, emulsione fine e riagggregazione spontanea.

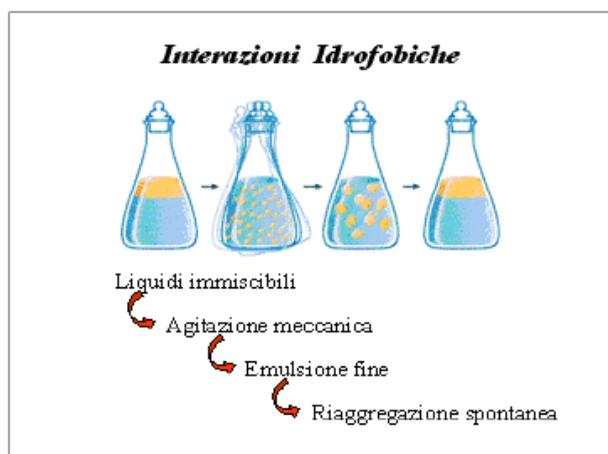


Figura 4

Supponiamo di avere a disposizione un recipiente chiuso contenente una certa quantità di olio e di acqua distillata. Poiché l'acqua è una sostanza polare, essa non è in grado di portare in soluzione l'olio (sostanza apolare) che quindi si dispone sopra (a causa della sua minore densità) il volume d'acqua stesso: si forma così un sistema caratterizzato dalla presenza di due fasi immiscibili.

Se a questo punto agitate energicamente il contenitore si viene a formare la così detta emulsione fine di olio in acqua. In altre parole, la fase oleosa superficiale, in seguito all'agitazione meccanica, viene a suddividersi finemente originando tante piccole goccioline d'olio in sospensione nella fase acquosa.

Infine, se si osserva cosa accade all'interno del contenitore

al cessare dell'agitazione meccanica, si noterà che le fini goccioline d'olio tenderanno spontaneamente a riunirsi tra loro, formando gocce via via di maggiori dimensioni, sino a ricostituire la situazione di partenza con le due fasi liquide (olio e acqua) separate e disposte l'una sull'altra.

Nel tentativo di spiegare il meccanismo alla base della riagggregazione spontanea, si è quindi descritta la situazione che si viene a determinare all'interfaccia olio-acqua. I concetti che al riguardo si volava far comprendere erano sostanzialmente tre:

1) la formazione, attorno alla superficie della sostanza non polare, di una struttura altamente ordinata di molecole di acqua, in maniera analoga a quanto si verifica all'interfaccia aria-acqua;

2) nella situazione appena descritta, il "guscio" di molecole di acqua altamente ordinate non interagisce in alcun modo con la superficie idrofobica della goccia d'olio;

3) la funzione di questo "guscio" è quella di schermare la superficie della sostanza idrofobica dal contatto con la massa di acqua circostante.

L'acquisizione di tali concetti è infatti di primaria importanza per la comprensione sia dei fenomeni di riagggregazione spontanea e d'interazione idrofobica sia della tecnica HIC.

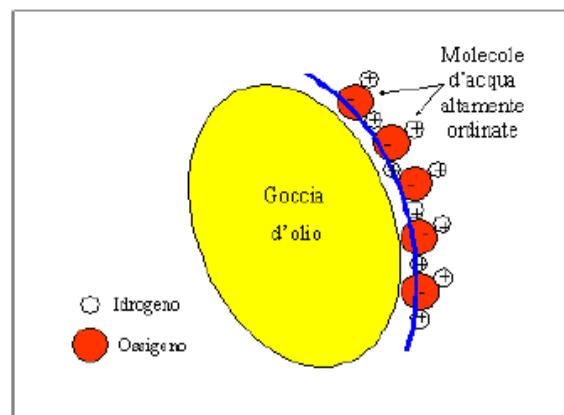


Figura 5 - "Guscio" di molecole d'acqua altamente ordinate all'interfaccia olio-acqua

Quando una sostanza idrofobica (nel nostro esempio una goccia d'olio) è immersa nell'acqua, le molecole di quest'ultima non sono in grado di formare legami deboli con la superficie della sostanza idrofobica a causa della totale apolarità di questa. Esse allora, in seguito alla mancata possibilità di formare legami a idrogeno in tutte le direzioni, si dispongono in modo da creare una struttura altamente ordinata attorno alla superficie della sostanza non polare, in maniera analoga a quanto descritto per la tensione superficiale. Inoltre, poiché i dipoli delle molecole d'acqua si dispongono in modo tale che le cariche parziali positive

dell'idrogeno si alternano a quelle negative dell'ossigeno, si viene a costituire una superficie nel complesso neutra (indicata nella Figura 5 con una linea curva di colore blu) che circonda come una sorta di "guscio" la gocciolina d'olio. La funzione di questo "guscio" è di schermare, e in qualche modo di "proteggere", la goccia d'olio dal contatto con la massa d'acqua circostante.

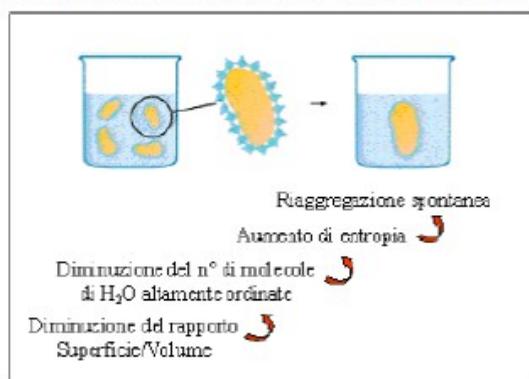


Figura 6 – Fenomeno di riagggregazione spontanea

Per comprendere qual'è il fenomeno alla base della riagggregazione spontanea delle goccioline d'olio in sospensione nella fase acquosa bisogna individuare la differenza sostanziale tra le due situazioni schematizzate nella figura. Nella parte sinistra del disegno è rappresentato un becker contenente quattro piccole gocce d'olio (situazione analoga alla seconda figura del disegno riportato nella Figura 5). Ciascuna di queste goccioline è circondata dal suo "personale" guscio di molecole d'acqua altamente ordinate (come evidenziato nell'ingrandimento accanto al becker suddetto). Nella parte destra del disegno lo stesso becker contiene una sola grande goccia ottenuta dall'unione delle quattro precedenti gocce isolate. Poiché si suppone che non vi sia stata perdita di materiale, la massa ed il volume complessivi di olio non sono mutati.

Cosa è cambiato allora? La superficie complessiva della componente oleosa, in seguito alla riagggregazione, è diminuita e, conseguentemente, è diminuito il relativo rapporto superficie/volume. Tutto ciò ha portato ad una riduzione del numero di molecole d'acqua utilizzate per la formazione dei "gusci" altamente ordinati (in quanto la superficie da "schermare" si è ridotta).

Da un punto di vista termodinamico, la fase acquosa ha subito quindi un aumento di entropia, ossia è passata da una situazione altamente ordinata ad una meno ordinata. Poiché, in generale, i processi spontanei fanno evolvere il sistema verso stati che hanno la probabilità più alta di esistenza e poiché il disordine è una condizione più probabile dell'ordine, si può facilmente comprendere come la forza guida di un processo spontaneo sia un aumento di entropia, che può essere appunto considerata come una misura del disordine di un sistema.

Ritornando al nostro esempio, possiamo concludere che

la riagggregazione spontanea delle goccioline d'olio è indotta non tanto dalla loro reciproca affinità, quanto piuttosto dall'aumento di entropia della componente acquosa, ossia dall'instaurarsi di una situazione termodinamicamente più favorevole. In altre parole, tale fenomeno, noto come interazione idrofobica, dipende dal comportamento dei dipoli d'acqua piuttosto che dall'attrazione diretta tra molecole idrofobiche.

Al termine di tale premessa generale, si è quindi cercato di applicare le nozioni appena esposte in campo chimico-biologico e più precisamente in relazione alle tecniche utilizzate per la separazione e la purificazione di biomolecole sulla base delle loro differenti caratteristiche chimico-fisiche.

È stata quindi ripresa in considerazione la proteina GFP in riferimento alla quale, oltre a ripeterne le caratteristiche generali, sono stati approfonditi i motivi della diversa distribuzione dei residui amminoacidici idrofobici e idrofili, rispondente ad una maggiore stabilità termodinamica del complesso proteico stesso. Riconsiderando poi quanto esposto nella prima parte della lezione, si è ricostruito, con il diretto coinvolgimento della classe, il tipo di interazioni molecolari presenti tra citoplasma batterico e residui amminoacidici superficiali della proteina, al fine di metterne in evidenza i differenti comportamenti.

In ambiente acquoso, quale è quello del citoplasma batterico, il ripiegamento della catena proteica della GFP è guidato dalla forte tendenza dei residui amminoacidici idrofobici ad escludere l'acqua: tali gruppi sono infatti termodinamicamente più stabili quando addensati e protetti all'interno della proteina (ambiente prevalentemente apolare) piuttosto che esposti sulla sua superficie. In questo modo, infatti, le molecole di acqua altamente ordinate necessarie per schermare i residui idrofobici sono numericamente poche e l'entropia dell'ambiente acquoso è elevata. Ne consegue che la catena polipeptidica della GFP si ripiega spontaneamente in modo che i residui non polari si trovino il più possibile all'interno della molecola e le catene polari, provviste di carica, alla sua superficie (Figura 7).

Proteina Verde Fluorescente (GFP)

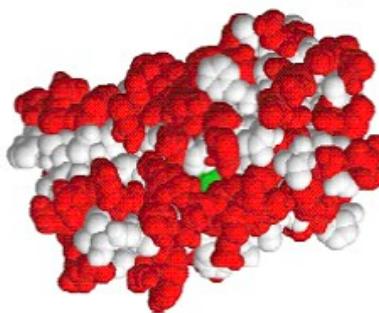


Figura 7 – Distribuzione degli amminoacidi idrofili (rosso) e idrofobici (bianco)

Proteina Verde Fluorescente (GFP)

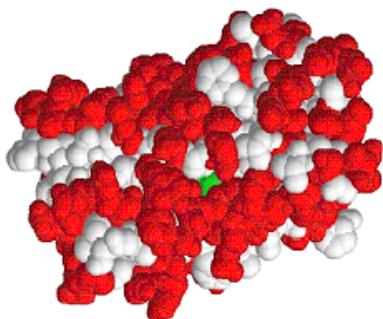


Figura 8 – Subunità proteica in formato Spacefill: è evidente l'estrema compattezza della struttura

Tutto ciò porta ad una stabilizzazione della struttura tridimensionale complessiva della proteina che tende ad assumere una forma compatta (struttura a β -barile) con pochi spazi vuoti. Tuttavia, la GFP presenta sulla sua superficie un discreto numero (rispetto ad altre proteine) di residui amminoacidici idrofobici (Figura 8).

Sebbene nel citoplasma batterico la superficie della proteina sia interamente circondata da molecole di acqua, esse tuttavia sono diversamente organizzate. Mentre a livello delle porzioni proteiche polari si instaurano interazioni dirette con i dipoli delle molecole H_2O , grazie alla formazione di legami a idrogeno che solvatano la proteina rendendola solubile, nelle regioni idrofobiche le molecole d'acqua assumono una disposizione altamente ordinata con la funzione di schermare tali gruppi dal contatto con l'acqua circostante.

A partire dalle conoscenze appena acquisite, è stato quindi descritto brevemente il meccanismo d'azione di una delle prime tecniche utilizzate per separare e purificare specifiche proteine da una miscela proteica complessa: la tecnica del "salting out".

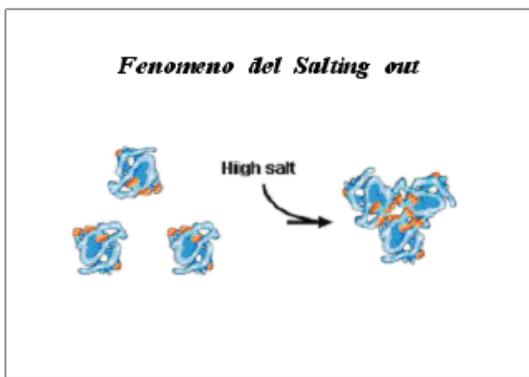


Figura 9

Abbiamo visto che le proteine differiscono tra loro per la

diversa presenza relativa di radicali amminoacidici polari e apolari. Poiché la solubilità (in ambiente acquoso) di una proteina è una conseguenza diretta della solvatazione dei suoi gruppi idrofilici superficiali, ne consegue che quanto più questi sono numerosi tanto più la proteina in questione è solubile. È altresì vero che tutte le condizioni che tendono a diminuirne il grado di solvatazione influiranno anche sul livello di solubilità della proteina stessa.

La tecnica del "salting out" sfrutta proprio il principio secondo cui proteine sottoposte ad un aumento di salinità della soluzione in cui si trovano tendono a precipitare. La spiegazione di tale comportamento è da imputare al fatto che l'aggiunta di un sale (ad esempio solfato di ammonio) alla soluzione induce le molecole d'acqua libere a solvatare gli anioni e i cationi introdotti. Se la concentrazione salina della miscela diviene elevata, le molecole di acqua libere non sono più sufficienti per solvatare tutti gli ioni presenti in soluzione. Inizia così un processo di desolvatazione delle regioni idrofobiche superficiali delle proteine che, risultando ora esposte, ossia non più schermate dal guscio di molecole d'acqua altamente ordinate, tenderanno ad interagire tra loro mediante interazioni idrofobiche e quindi a precipitare sotto forma di aggregati proteici.

È importante sottolineare che questa tecnica consente di precipitare la proteina in forma nativa, ossia attiva, quindi senza denaturarla. Si ricorda che il termine denaturazione sta ad indicare il processo che porta alla perdita della struttura terziaria di una proteina e, quindi, della sua attività in seguito alla rottura dei legami deboli e delle interazioni idrofobiche che la caratterizzano.

Tale premessa ha consentito di ricondurre gli studenti al processo HIC basato sullo stesso principio operante nel fenomeno del "salting out". In esso, tuttavia, piuttosto che ricercare l'interazione proteina-proteina, viene facilitata l'interazione proteina-matrice grazie alla presenza su quest'ultima di ligandi idrofobici specifici (Figura 10). In definitiva, quindi, nella cromatografia ad interazione idrofobica la separazione e/o purificazione delle proteine dipende dall'adsorbimento reversibile di queste a una matrice in funzione della loro idrofobicità superficiale.

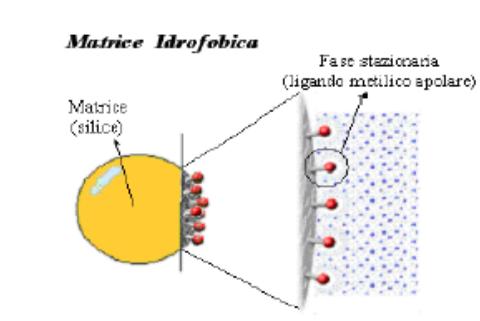


Figura 10

Nella parte destra della figura si osserva una rappresentazione simbolica di una porzione superficiale ingrandita di una microsferetta della matrice utilizzata nella cromatografia ad interazione idrofobica (HIC). In questo tipo di cromatografia, la matrice è costituita da microscopiche particelle sferiche di silice e la fase stazionaria da ligandi metilici, i veri responsabili dell'interazione con le regioni proteiche apolari.

Nell'ultima parte della lezione, è stata visionata un'animazione della tecnica HIC tratta da Internet⁶ al fine di agevolare la comprensione delle relative spiegazioni. Anche la scelta di introdurre questo tipo di metodologia didattica si è rivelata proficua, considerati la grande attenzione e l'entusiasmo manifestati dai ragazzi.

La maggior parte dei processi di cromatografia ad interazione idrofobica prevede 4 passaggi successivi: equilibratura, applicazione del campione e lavaggio, eluizione e rigenerazione della matrice.

1) Equilibratura

Il primo passaggio è l'equilibratura della fase stazionaria alle condizioni saline di partenza desiderate. Ciò è ottenuto tramite l'aggiunta alla fase mobile (soluzione acquosa che mantiene costantemente bagnata la matrice) di una soluzione salina. In questa fase, in genere, il tampone utilizzato è costituito da solfato di ammonio a concentrazione discretamente elevata. La sua funzione è quella di creare all'interno della colonna un ambiente a concentrazione salina uguale a quello del campione che verrà caricato.

Nell'animazione⁶ gli ioni salini introdotti nella colonna sono rappresentati con piccoli rombi di colore blu.

2) Applicazione del campione e lavaggio⁷

Lo scopo di questo secondo stadio è quello di legare la/e molecola/e d'interesse alla fase stazionaria e di lavare via tutto il materiale non legato (che esce insieme alla fase mobile). Il legame è promosso dalla concentrazione salina discretamente alta presente all'interno della colonna (si rimanda alla spiegazione relativa alla tecnica del "salting out").

Il campione viene caricato all'interno della colonna cromatografica e lasciato filtrare per gravità. In questa fase le proteine completamente idrofile transitano all'interno della matrice senza interagire con essa e vengono eluite dalla colonna insieme alla fase acquosa della soluzione caricata. Al contrario, le proteine che presentano porzioni idrofobiche più o meno estese vengono adsorbite dalla matrice in un modo che dipende

dalla loro idrofobicità superficiale. Questo è reso possibile dal contemporaneo processo di desolvatazione degli stessi residui amminoacidici apolari superficiali, che risultano quindi nelle condizioni ideali per interagire con i ligandi idrofobici della matrice.

3) Eluizione⁸

In questo terzo stadio le proteine legate vengono progressivamente rilasciate dalla superficie dei ligandi idrofobici della matrice in seguito al processo noto come eluizione per gradiente salino. La salinità della soluzione viene gradualmente ridotta (si noti che nell'animazione il numero dei piccoli rombi blu diminuisce progressivamente). Una frazione via via maggiore di dipoli di acqua precedentemente utilizzati per solvatare gli ioni salini ritornano "liberi". Questo consente alle regioni idrofobiche delle proteine e dei ligandi della matrice di ritornare, con altrettanta gradualità, ad essere schermate da nuovi "gusci" di molecole d'acqua altamente ordinate, in seguito alla progressiva diminuzione della loro idrofobicità superficiale complessiva. In tal modo si verifica un graduale distacco dalla matrice delle molecole proteiche che eluiscono quindi fuori dalla colonna cromatografica. Poiché l'ordine di eluizione è inversamente proporzionale al grado d'idrofobicità superficiale delle proteine, queste, alla fine, risulteranno essere state separate.

4) Rigenerazione della matrice

È il passaggio finale del processo cromatografico e serve per rimuovere dalla matrice tutte le molecole ancora legate. Questo garantisce che la piena funzionalità della fase stazionaria sia disponibile per un successivo processo di purificazione.

La proiezione di due diapositive conclusive (Figura 11 e

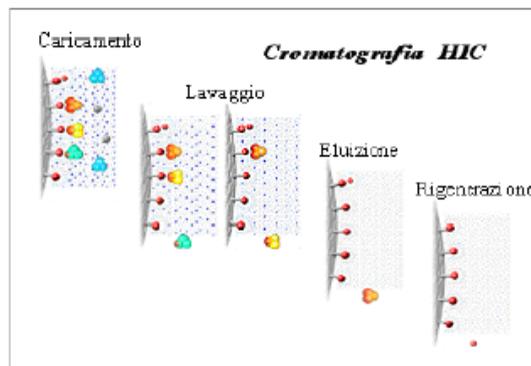


Figura 11

⁶Per visionare l'animazione della tecnica di cromatografia ad interazione idrofobica collegarsi al seguente indirizzo internet: <http://www.chromatography.amershambiosciences.com/>

Nel riquadro "Education Center" selezionare "Hydrophobic Interaction" (sotto la dicitura "LC techniques") e, all'interno della nuova schermata, "Animation" (presente nel riquadro a sinistra sempre sotto la dicitura "LC techniques").

⁷Nell'animazione è definita lavaggio l'eluizione dalla colonna cromatografica delle proteine completamente idrofile. Questa definizione non coincide con quella data in precedenza ("Chimica e biologia molecolare: due facce della stessa medaglia - Parte I" - CnS, anno XXVIII, n° 1, 2006: pp. 30-40) in riferimento al processo di purificazione della GFP eseguito al LLC, ove con il termine lavaggio si intende la fuoriuscita dalla colonna delle proteine idrofobiche che si sono legate alla matrice e da cui la GFP deve essere separata (passaggio che nell'animazione è incluso nel successivo stadio di eluizione). Per visualizzare meglio questa diversa scansione riferirsi agli schemi riportati nelle Figure 11 e 12.

⁸Nell'animazione l'eluizione dalla colonna della molecola verde e gialla coincide con lo stadio di lavaggio nel processo di purificazione della GFP. Solo il distacco dalla matrice e la conseguente fuoriuscita dalla colonna della molecola arancione è considerata, in entrambi i casi, eluizione.

e 12) ha infine consentito di riassumere brevemente i concetti appena esposti e di ricollegarli alla metodica utilizzata al LLC per la purificazione della proteina GFP².

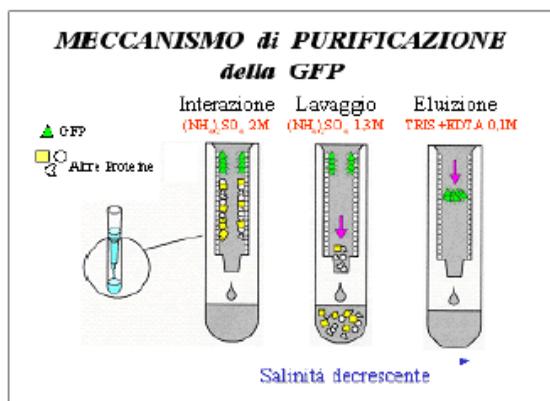


Figura 12

Al termine di quest'ultimo incontro, si è ritenuto utile fornire ai ragazzi un CD-ROM sul quale era stata precedentemente memorizzata la presentazione in PowerPoint proiettata. In tal modo, gli studenti avrebbero potuto ripassare a casa la lezione svolta, con il supporto di una specifica dispensa recante i commenti alle diapositive.

Riflessioni didattiche conclusive

Il progetto didattico riproposto nel presente e nei precedenti contributi è stato realizzato con l'intento di costruire un percorso trasversale, che includesse argomenti tradizionalmente trattati in settori disciplinari diversi. L'idea di fondo era dimostrare agli studenti come le competenze acquisite con lo studio della chimica fossero presupposto indispensabile per la comprensione di molti fenomeni descritti dalle scienze della Vita. Si è cercato di "educare al metodo scientifico" e a una costruzione consapevole delle conoscenze, allo scopo di far acquisire agli studenti la capacità di interpretare razionalmente vari aspetti della realtà, con riferimento soprattutto ad argomenti molto attuali e dibattuti quali le procedure e l'utilizzo delle biotecnologie. A tale riguardo, si è ritenuto di dover sottolineare la centralità di un sapere razionalmente fondato, tale da non subire condizionamenti di carattere ideologico-emotivo. La classe ha dimostrato di apprezzare questa proposta didattica e le strategie operative utilizzate e ha spesso assunto un ruolo attivo non solo nel dialogo scolastico, ma anche nel proporre tematiche di interesse personale su cui acquisire maggiori conoscenze, quali, ad esempio, la clonazione terapeutica e riproduttiva, gli OGM, l'utilizzo dell'esame del DNA sia in ambito forense che come strumento preventivo di numerose patologie. Diversi studenti hanno dato prova di un rinnovato interesse verso la chimica che ha prodotto non solo risultati migliori dal punto di vista del profitto, ma ritengo anche una maggiore predisposizione all'analisi critica e consapevole dei fenomeni e dei fatti della quotidianità.

Ringraziamenti

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

Si desidera altresì ringraziare in modo particolare il Prof. Rinaldo Cervellati, docente del Dipartimento di Chimica dell'Università di Bologna, e la Prof.ssa Vittoria Stagni, docente di Scienze presso il Liceo Scientifico "A. Righi" di Bologna, per il loro insostituibile apporto alla realizzazione del progetto formativo e del presente articolo.

Bibliografia e opere consultate

- Bertolini P.:** *Introduzione al convegno*. Encyclopaedia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 7-14.
- Cerruti L.:** *Bella e potente. La chimica del Novecento fra scienza e società*. 2003. Editori riuniti, Roma.
- Cervellati R., Perugini D.:** *Guida alla didattica della chimica nella Scuola Secondaria Superiore*. 1987, Zanichelli, Bologna.
- Dallari M.:** *Identità personale e politica dell'insegnante*. Encyclopaedia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 21-34.
- Mortari L.:** *Per una presenza responsabile*. Encyclopaedia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 49-56.
- Sternberg R.J.:** *Stili di pensiero*. 1998, Centro studi Erickson, Trento.
- Tartarotti L.:** *La programmazione didattica*. Giunti-Lisciani, Firenze.
- Tsien R.Y.:** *The Green Fluorescent Protein*. *Ann. Rev. Biochem.*, 1998; 67: 509-544.
- Valle G., Citterich M.H., Attimonelli M., Pesole G.:** *Introduzione alla bioinformatica*. 2003, Zanichelli, Bologna.
- Atkins P.W.:** *Chimica Fisica*. 3^a Edizione, 1997, Zanichelli, Bologna.
- Brady J.E., Holm J.R.:** *Fondamenti di chimica*. 1985, Zanichelli, Bologna.
- Campbell N.A., Mitchell L.G., Reece J.B.:** *Immagini della biologia*. 2000, Zanichelli, Bologna.
- Chang R.:** *Chimica Fisica*. 2^o volume, 2003, Zanichelli, Bologna.
- La nuova enciclopedia delle scienze Garzanti**. 3^a Edizione, 1991, Garzanti, Milano.
- Le Tavole MAFBIC**. 1^a Edizione, 1989, Zanichelli, Bologna.
- Moore W.J.:** *Chimica Fisica*. 1990, Piccin, Padova.
- Russell P.J.:** *Genetica*. 2^a Edizione, 1996, Edises, Napoli.
- Solomon T.W.G.:** *Chimica organica*. 2^a Edizione, 1988, Zanichelli, Bologna.
- Stryer L.:** *Biochimica*. 4^a Edizione, 1996, Zanichelli, Bologna.
- Wilson K., Walker J.:** *Metodologia Biochimica*. 2001, Cortina Editore.
- Zumdahl S. S.:** *Chimica*. 1993, Zanichelli, Bologna.

Siti internet consultati

- <http://dwb.unl.edu/Teacher/NSF/C08/C08Links/pp99.cryst.bk.ac.uk/projects/gmocz/gfp.htm>
- <http://www.bio-rad.com>
- <http://www.biochemtech.uni-halle.de/PPS2/projects/jonda/index.htm>
- http://www.bernstein-plus-sons.com/software/RasMol_2.7.2/README.html
- <http://www.chromatography.amershambiosciences.com>
- <http://www.llc.it>
- <http://www.pdb.bnl.gov>
- <http://www.rcsb.org/pdb>

L'AGGIORNAMENTO PARTECIPATO E LA DIDATTICA LABORATORIALE

PIANO NAZIONALE Insegnare Scienze Sperimentali

LE MOTIVAZIONI ED I VALORI:

per contemplare le stelle senza perdere l'equilibrio

TIZIANO PERA

tiziano.pera@cobianchi.it

Premessa

Come molti lettori ormai sanno, il Ministero della Pubblica Istruzione ha attivato il Piano Nazionale Insegnare Scienze Sperimentali (I.S.S.)[1] che è in fase di start up, dopo quattro corsi di aggiornamento realizzati due a Milano e due a Napoli per docenti tutor. Semplificando al massimo, l'idea, espressa in modo puntuale ed articolato nei documenti ufficiali, è quella di offrire una chiave di lettura unitaria all'insegnamento delle Scienze Sperimentali soprattutto sul piano metodologico-didattico, dotando tutto il territorio nazionale di presidi (uno per Provincia centrato su una scuola polo a cui afferisca una rete di scuole del territorio). Gli indicatori di processo associati al piano possono fornire un quadro assolutamente sintetico dei riferimenti strutturali di ISS: verticalità, ricerca dei contesti di senso, didattica laboratoriale, competenze standard. Sarebbe importante entrare nel merito del PN ISS per i molteplici aspetti relativi alla relazione insegnamento e apprendimento, sulle possibili sinergie e contaminazioni tra educazione formale ed in formale[2] e via dicendo, tuttavia mi preme qui di proporre alcune riflessioni circa la scenografia che sta alle spalle di molti processi che si stanno sviluppando in questi periodi e sui quali potremo tornare in altre occasioni.

Perché insegnare scienze sperimentali

Che conoscere sia diverso da sapere è un fatto. Termini come conoscenza, sapere, competenza o informazione, formazione, educazione non possono essere utilizzati indifferentemente, quasi fossero sinonimi[3]. Esse rappresentano significati differenti e, ciò che qui importa, si tratta di una differenza semantica che arriva a coinvolgere i piani dell'etica e dei valori. D'altro canto le parole sono come delle tasche e le tasche non valgono per ciò che sono, bensì per quello che contengono.

L'idea a cui mi rifaccio è quella proposta da molti autori tra cui R. Alves[4] e J. Hillman[5] secondo i quali ciò che muove tutto è la bellezza. La scuola può essere recuperata alle sue potenzialità probabilmente solo ridefinendone un obiettivo alto: quello di occuparsi della *pedagogia della bellezza*.

Sotto questa prospettiva i risultati OCSE-PISA, per certi versi sconcertanti, costituiscono una occasione di eman-

cipazione. Il piano ISS può costituire una opportunità per introdurre alcuni semi funzionali a questa prospettiva evolutiva che si fonda sulla bellezza.

Proviamo ad esprimerci con una metafora: immaginiamo che i fenomeni della Natura siano collocati rispetto alla nostra capacità di percezione (osservazione, conoscenza, sapere e dunque comprensione)[6] come dei palloncini che, se non trattenuti dalle nostre mani attraverso il filo, volerebbero via, liberi nell'aria, lontani da noi. La Scienza e in particolare le scienze sperimentali che ne rappresentano una parte significativa in quanto legata all'agire, può essere ben rappresentata dal filo che trattiene il palloncino.

Sotto questo profilo, Insegnare Scienze Sperimentali è "insegnare a trattenere i palloncini per portare a noi la bellezza, evitando che se ne vada nell'aria, lontana da noi".

Insegnare Scienze Sperimentali è insegnare la bellezza

Come insegnanti, noi avremmo dunque il compito di insegnare a percepire la bellezza e in questo la Scienza ci sarebbe di aiuto insostituibile[7].

Come si vede i contenuti ed i concetti non sono al primo posto rispetto alla gerarchia delle priorità di ISS e tuttavia acquisirebbero senso proprio da questa priorità: per dare senso ad ISS occorre partire dalla ricerca della bellezza da cui trae linfa la relazione tra noi ed i fenomeni del mondo a cui apparteniamo.

Si tratta allora di passare dalla pedagogia della conoscenza alla pedagogia del sapere che significa riscoprire la pedagogia del *sapere* (da cui il sapere trae origine): questo rappresenta, nelle moltitudini di occasioni legate alla nostra stessa vita quotidiana, il *contesto di senso* entro cui ricollocare i contenuti ed i concetti propri di ISS e delle discipline che vi afferiscono.

Si tratta di un vero e proprio cambiamento di prospettiva che è portatore di una sua precisa idea-forza: è meglio proporre uno studio che soddisfi l'obiettivo del piacere che non quello del dovere[8]. Non si vuole sostenere qui che a scuola ci si debba occupare solo di ciò che può produrre soddisfazione: si vuole affermare che, ad un sano senso del dovere è possibile associare l'idea che si possa studiare per piacere. R. Alves, ribaltando la logica che colloca nella sola mente la pulsione ad apprendere,

sostiene che la mente sta nel corpo e che dunque il nostro corpo vuole imparare al fine di stare bene o, comunque, di stare meglio. Proprio per questo abbiamo due mani: la destra serve per impugnare gli utensili; è la protesi ideale dell'*homo faber* della *techne*[9]. La mano destra è quella che può darci potere ma che, da solo, non ci porta ad incontrare la bellezza, non ci porta alla felicità. Perciò siamo dotati della mano sinistra, che è la mano del cuore, che serve per impugnare i giocattoli: se paragonati agli utensili, i giocattoli servono a poco e non danno potere ma certamente sono portatori di gioia che rappresenta una cifra della bellezza: la gioia è l'anticamera della felicità. Dunque è bene imparare sia con la mente che con il corpo perché, in ultima analisi, è il corpo che *abita il mondo*[10].

Il Piano ISS ci offre la possibilità di superare l'assunto antiestetico di cui troppo spesso la Scienza si è trovata ammantata [11]. Secondo questa prospettiva le dimensioni della *qualità* e della *bellezza* non avrebbero dignità scientifica all'interno di una rigida concezione meccanicistica in cui conterebbero solo *quantità, misure e numeri* [12]. La riproposizione di adeguati "*contesti di senso*" che ISS propone, congiuntamente ad una didattica laboratoriale ove lo studente sia effettivamente protagonista dell'azione e non semplice esecutore passivo [13], permette di recuperare il rapporto tra Scienza e bellezza. Riscoprendo la relazione vitale tra mente e natura [14] si può sperare che *qualità, bellezza e forma* facciano parte del gusto che si prova nell'agire consapevolmente la relazione con i fenomeni. La crescita della conoscenza si può così tramutare in crescita di sapere (come conoscenza esperita nei vari contesti) e dunque di competenza (capacità di assumersi responsabilità al fine di svolgere compiti). I fenomeni che si manifestano ai nostri occhi non vanno solo spiegati e descritti: vanno "*vissuti*", studiati ed esperiti tanto da poterli *con-prendere*, cioè "*prendere dentro di noi*": solo così "*la Scienza è lo studio della bellezza del mondo*" [15].

Alla ricerca dei "contesti di senso"

E' dunque per orientarci "*alle radici del sapere*" che occorre recuperare il senso dell'*esperienza* nascosta dentro la linearità forzata dell'*esperimento* [16]. L'*esperienza del sapere* ha bisogno dalla pedagogia del sapore, del gusto per la scoperta della nostra quotidianità: i contesti di senso [17] delle nostre conoscenze e dei nostri concetti sono nella nostra vita che, com'è evidente, è fatta di concretezza quanto di astrazione. Di fronte ai fenomeni che manifestandosi a noi, ci interpellano, occorre riscoprire il fascino delle risonanze, delle fantasie, dei desideri e delle inquietudini di cui la nostra relazione con questi fenomeni può essere "*caricata*" [18]. In questo senso il sapere non è finalizzato ad una conoscenza asettica e tutto sommato sterile, ma al contrario è intriso di esperienza personale [19]. Vi è chi considera la sfera delle emozioni come alternativa alla razionalità, quasi esse costituiscono una vera e propria turbativa per i

processi logici e razionali che invece, per svilupparsi in modo limpido, avrebbero bisogno di neutralità da parte dell'osservatore, di sterilità di sentimento. Naturalmente c'è chi sostiene, all'opposto e sostenuto da solide ricerche [20], che le emozioni costituiscono una preziosa fonte di informazioni sul nostro rapporto con l'ambiente, dunque con gli oggetti e con i fenomeni della Natura [21]. Come possiamo allora perseguire la pedagogia della bellezza, che ci permette di dare senso alle cose che facciamo e a quello che impariamo, se partiamo da queste premesse come fossero antagoniste? Per offrire *contesti di senso* al Piano ISS occorre imparare a connettere in modo equilibrato razionalità ed emozione.

Insegnanti-studenti-scienze sperimentali: una relazione da riproporre

I nostri interlocutori, gli studenti, non sono mai "*scatole vuote*" [22] da riempire a partire da noi. In quanto "*scatole piene*", i nostri interlocutori sono portatori di fatti, esperienze pregresse, immaginari, modelli, concetti, conoscenze e dubbi con cui dobbiamo entrare in relazione. Con chi non ha dubbi è impossibile comunicare: io desidero ascoltare un altro proprio perché e quando non ho certezze da esibirgli. Ecco allora che prima di proporre un insegnamento è necessario portare alla luce le incertezze e i dubbi che presiedono alle domande offrendo loro l'opportuno contesto di senso [23]. Per quanto possa essere banale affermarlo, occorre suscitare domande prima di proporre risposte. Ciò significa che non esiste la possibilità di proporre agli studenti dei percorsi preconfezionati e irrigiditi: non è nella struttura della proposta che occorre ricercare il "*rigore*" necessario all'azione didattica e formativa.

Occorre anche superare una volta per tutte l'idea gradualista e lineare dell'apprendimento per successioni parziali, contigue e continue [24]: abbiamo sempre a che fare con "*teste ben fatte*" [25] e soprattutto con teste sempre totali. Ciò per dire che i bambini affrontano la realtà per tutta la totalità che essa manifesta ai loro occhi: vedono tutto, si chiedono tutto, si spiegano tutto e modellizzano tutto per poi selezionare quanto loro occorre e quanto no. Jerome Bruner sostiene in proposito: "*molto presto, prima ancora che il pensiero diventi operativo nel senso inteso da Piaget, la nostra capacità di raffigurare il mondo attraverso immagini tipiche e somiglianze (modellizzazione n.d.r.) ci fornisce una sorta di struttura preconcettuale grazie alla quale possiamo operare nel mondo*"[26]. Egli va ancora oltre e sancisce in modo netto un principio che è tempo di prendere in seria considerazione: "*è possibile insegnare qualsiasi argomento a qualsiasi bambino di qualsiasi età, purché si trovi una forma "onesta" per farlo*" [27]. Se le cose stanno così, non sta dunque a noi di decidere i limiti della totalità entro la quale si muovono i bambini o i ragazzi o gli adulti, né la gradualità da proporre loro a partire dal nostro livello adulto né, su altro piano, da quello epistemologicamente strutturato delle discipline.

Se per *apprendimento* intendiamo un *processo neuropsicologico che porta ad una modificazione duratura del comportamento nella relazione col mondo* allora è chiaro che il docente può agire solo *facendosi mondo* per i propri studenti e dunque aprendosi alla relazione con loro *“partendo da loro”*. Questo atteggiamento implica uno *spiazzamento* dell'insegnante rispetto al punto di partenza: non si parte dai programmi né dai curricula, ma dalle domande di senso [28] a cui quei programmi e curricula dovrebbero rispondere; l'insegnante non parte dalle proprie sicurezze (personali e/o disciplinari), ma dalle insicurezze degli studenti. Sul piano prospettico ciò costituisce un ribaltamento delle teorie pedagogiche strutturate che assegnano compiti all'insegnamento graduale sull'asse lineare dell'apprendimento progressivo. La struttura epistemologica delle discipline costituisce un portato irrinunciabile dell'ISS e tuttavia rappresenta un obiettivo di ordine due rispetto a quello che ricolloca i saperi entro i contesti di senso offerti dalla bellezza che la vita offre a noi ed ai nostri studenti.

Gli insegnanti debbono certo occuparsi dei linguaggi [29] che, sotto la pressione dell'intelligenza, scaturiscono in forme e modi diversi a seconda dei soggetti e delle differenti fasce di età, ma gli insegnanti non possono decidere a priori quali reti concettuali siano proprie o improprie, opportune o non opportune per gli studenti: conoscenze e concetti relativi ad un certo tema non costituiscono “pacchetti” di idee preconfezionati, sempre uguali per tutti e per tutte le età: pensare questo non significa avere una idea rigorosa della Scienza, ma più semplicemente una idea rigida. Per lo stesso tema possono esistere infatti diversi contenuti e diversi concetti coerenti con diversi contesti, mutuati da differenti linguaggi riferibili alle differenti età. Caso per caso, sarà opportuno che il docente si misuri con contenuti, concetti e linguaggi, ma sempre a partire dallo studente [30], dai suoi dubbi, che l'insegnante opportunamente deve far emergere, e dalle sue conseguenti domande di senso. Per Mario Lodi *“tutte le cose del mondo debbono essere date ai bambini affinché essi le interpretino”* [31]: ciò significa che *“tutte le cose del mondo”* sono interpretabili anche dai bambini che comunque si dotano di modelli funzionali allo scopo. Se è dunque vero che si modella sempre e comunque, allora occorre chiarire che per differenti livelli di età esistono molto probabilmente differenti modelli dello stesso oggetto o dello stesso fenomeno [32], che non si identificano certo con i modelli della Scienza adulta e che però hanno o possono avere in sé le caratteristiche ontologiche della *ricerca scientifica* da sottoporre certo ad interpretazione intersoggettiva, ma nel proprio contesto specifico [33]. Dunque più che una questione di contenuti, che non dobbiamo certo riscoprire ora, ISS si misura con i contesti, i metodi ed i linguaggi da adottarsi nelle differenti fasce d'età. Qui sta la vera sfida della verticalità: non è tanto sulla propedeuticità che occorre lavorare ed innovare, bensì sulla ricerca di senso e sulla partecipazione emotiva oltre che razionale alla costru-

zione del proprio sapere. Occorre, in altre parole, lavorare per promuovere l' *“intenzionalità”* dell'atto conoscitivo-sapienziale invece di limitarsi a richiedere *“ricettività”* da parte dello studente. Da qui il forte richiamo di ISS al protagonismo degli studenti rispetto alla responsabilità di *“scegliere”* ipotesi, percorsi, azioni entro il loro stesso contesto di apprendimento e di qui lo spazio fondativo attribuito alla *didattica laboratoriale* [34] e all'esperienza. Così facendo la figura del docente non è certo sminuita di importanza, anzi: ne è promossa la funzione fondamentale di *complicità pedagogica*, ben chiara se si accettano le prospettive di una didattica fondata sulla ricerca delle sintonie, delle intersoggettività che definiscono spazi di esperienza condivisa basata sulla *“attenzione congiunta”* [35] tra docente, studente e mondo indagato.

Dall'esperienza all'esperienza dialogica del mondo [36]

ISS ha in sé una potenzialità dirompente circa la possibilità di dispiegare le intelligenze degli studenti: può permettere loro di incontrare la bellezza attraverso l'apprendimento dialogico col mondo. Per Paulo Freire, il dialogo costituisce la premessa fondante di una Scienza laica, che sappia riprodurre se stessa e, allo stesso tempo, sappia mettersi criticamente in discussione [37]. D'altra parte *“chi dialoga non può mai dirsi addio”* [38]: rapportarsi criticamente con gli oggetti o con i fenomeni implica l'apertura di dialogo con le Scienze Sperimentali e ciò costituisce una scelta precisa. Oltre che una scelta, dialogare con gli oggetti ed i fenomeni (con il mondo) attraverso la scienza costituisce una premessa per non dire loro addio e dunque per ricollocarsi nel mondo in modo attivo, responsabile e compatibile [39].

Dialogare con oggetti e fenomeni attraverso ISS porta a potenziare le prestazioni della testa ben fatta: Edgar Morin richiama una frase di Montagne [40] per sostenere con lui che *“è meglio una testa ben fatta che una testa ben piena”* e distingue tra *“una testa nella quale il sapere è accumulato (...) e non dispone di un principio di selezione e di organizzazione che gli dia senso”* e una testa ben fatta, che comporta *“un'attitudine generale a porre e a trattare i problemi, principi organizzatori che permettano di collegare i saperi e di dare loro senso”*. E' per questo che insisto sull'importanza della didattica laboratoriale ed è ancora per questo che, in quel contesto, propongo di passare dall'esperienza alla esperienza cosciente.

Aprire l'esperienza lineare all'esperienza multivariata consente di passare dalla prescrittività dei processi didattici (che propongono allo studente una relazione passiva) alla proposta di coinvolgimento nelle scelte, così che gli studenti agiscano nella determinazione attiva di questi stessi processi: l'esperienza implica l'apertura alla molteplicità delle possibilità di azione, di modellizzazione (dunque di illustrazione, spiegazione, previsione), di estrapolazione (trasferimento a contesti “altri”) e di memorizzazione (dunque di narrazione).

Occorre riportare a sintesi il rapporto tra *pensiero* ed *azione*: il pensiero deve trovar verifica nell'azione e questa deve concretare il pensiero. Poiché poi sempre e a qualsiasi età "l'immaginario veste le cose" [41], passare dall'esperienza all'esperienza porta a differenti piani di possibile *astrazione* [42] nella consapevolezza che quest'ultima, per quanto compromessa con la realtà, ne costituisce solo una *sporgenza* (un *di più*, una *ulteriorità*, una *promessa*) che tuttavia ci può offrire quel sovrappiù di senso in grado di estendere, moltiplicare ed arricchire la nostra relazione col mondo.

Ogni oggetto come ogni fenomeno che si presenti a noi è intriso di infiniti potenziali racconti: è se stesso e, contemporaneamente, *altro da sé*. E' poi anche probabile che ogni studente si rapporti con gli oggetti ed i fenomeni in modo differente a seconda del tipo di relazione che egli decide di instaurare e del tipo di intelligenza a cui naturalmente gli viene comodo riferirsi [43]. Questa prospettiva "aperta" si comprende bene quando oggetto o fenomeno sono inseriti nella relazione tra il sistema e l'ambiente che ne definisce i contorni e le possibili relazioni (scambi di materia e/o di energia).

Per lo più la scuola si accontenta di proporre lo studio dei sistemi e dell'ambiente trascurando le relazioni che ne definiscono il senso reciproco. Così facendo conoscenze e concetti restano come "sospesi" sulla scena, deprivati di un contesto di senso aperto agli sfondi scenografici del quotidiano o comunque troppo spesso solo cristallizzati nell'ambito disciplinare.

Un "laboratorio" di esperienze conoscitive ed emotive

Il "laboratorio" inteso come contesto (attrezzato, naturale, domestico) ove si esplicano le esperienze di relazione con i fenomeni rappresenta una risorsa insostituibile per il processo di insegnamento-apprendimento delle Scienze Sperimentali. Si tratta infatti di un ambito ove le conoscenze vengono sottoposte alla prova dell'azione cosciente o, in alternativa, da questa vengono messe a fuoco. A sua volta l'azione cosciente implica l'adozione di "scelte" (in questo sta la differenza ontologica sostanziale tra l'esperienza e l'esperimento che ne costituisce il distillato riproducibile) e le scelte coinvolgono inevitabilmente la relazione equilibrata tra le sfere della razionalità e della emotività. *E(x)-ducere*, etimologia di "educare", significa "muovere da"... verso l'uscita (ex), dunque uscire da una situazione precedente. Mentre l'*educazione* ci viene dal di fuori, l'*emozione* parte da dentro di noi: è la molla che ci convince che là, fuori da noi, c'è qualcosa di interessante che ci interpella, ci tocca, ci provoca [44]. Anche in questo caso viene sollecitata la nostra scelta circa il lasciarsene coinvolgere oppure no. Se è vero che i messaggi dell'emotività si trasmettono attraverso il corpo (la postura, la mimica facciale, il tono della voce, l'uso delle mani e così via), allora il *laboratorio* si svela luogo importante anche in questo senso. E' infatti un luogo ove il corpo, tutto il corpo e non solo la testa, assume la propria dimensione attiva (perceptiva, speculativa, nar-

rativa): è pertanto più facile che l'intelligenza emotiva, sollecitata dal contatto anche fisico con i fenomeni, con le situazioni e con gli oggetti (attrezzature, sostanze e strumenti), produca o sostenga un apprendimento costruito sulla base della capacità di scegliere, di assumersi qualche responsabilità. Questo è l'apprendimento in grado di far percepire dei sapori, tanto da radicarne gli assetti costitutivi (nozioni, concetti, circostanze, ambiti di senso) producendo "saperi" e "competenze" [45]. Come risulta dalle ricerche pedagogico-didattiche di questi ultimi cinquant'anni [46], è infatti assai probabile che situazioni del genere portino alla evoluzione condivisa e contemporanea del docente e dei discenti [47] e però, nel nostro caso, ciò avverrebbe all'interno di una relazione tripartita, ove il fenomeno sotto osservazione-studio rappresenta una nuova "ulteriorità", un nuovo "volto dell'altro" [48], quella terzietà che porta dal rapporto a due, necessariamente lineare, alla rete della complessità.

Verticalità curricolare ed educazione: scuola liquida o pedagogia della lumaca?

E' indubbio che la Scuola sia il luogo deputato precipuamente all'educazione, cioè ove possono essere "portati alla luce" gli elementi della emancipazione sui diversi piani della promozione culturale di ognuno di noi, della costruzione di cittadinanza responsabile, della evoluzione dei propri saperi e competenze. Ciò non significa certo che la Scuola sia l'unico luogo ove si perseguono i suddetti obiettivi: la famiglia è luogo di educazione a cui si affiancano mille altri luoghi di educazione cosiddetta informale. E' anche noto a tutti che in questi ultimi decenni la relazione educativa si è dovuta misurare con diffuse e varie forme di disagio che coinvolgono, seppur in forma e misura diverse, tutte le fasce d'età. Viviamo anni nei quali il tempo sembra scorrere tanto in fretta da non permettere la decantazione e la riflessione su cose ed eventi perché già digeriti appena superato il loro accadere. L'accelerazione dei cambiamenti che attraversano il contesto sociale ed economico permea necessariamente i processi di costruzione delle personalità di tutti noi, influenzando soprattutto quelle delle nuove generazioni. Da qui la "fatica" di molti adulti impegnati nella relazione educativa con i giovani: come genitori è difficile trovare l'equilibrio tra affettività ed autorevolezza e come insegnanti la difficoltà si traduce in lamentazione di fronte a giovani che sembrano abitare la scuola in modo passivo e disinteressato. Con questo contesto deve fare i conti anche il piano ISS: poiché è inutile e probabilmente sbagliato guardare alla scuola del passato per rimpiangerne la diversità [49], occorre che ISS si interroghi su chi sono oggi gli studenti ai quali ci si rivolge, così da individuarne e comprenderne i nuovi bisogni. A questo tenta di rispondere quella ricerca dei "contesti di senso" che tende a misurarsi con le domande della quotidianità a cui le Scienze Sperimentali possono dare risposta. Anche a questo riguardo può essere d'aiuto rompere con l'idea di educazione (e dunque di formazione) come progressione

lineare rivolta al futuro. Questa visione che implica una idea di verticalità fatta come successione continua di proposte legate da relazioni di propedeuticità (su cui spesso si basa l'approccio cosiddetto "storico" alle discipline) si scontra palesemente con la precarietà della vita "liquida" [50] legata ai cambiamenti continui e repentini. "Siamo liquidi e precari perché viviamo tempi in cui le situazioni evolvono prima che i nostri modi di pensare ed agire possano trasformarsi in abitudini e procedure" [51]. Il carattere "liquido" della vita delle persone e della società di oggi porta con sé la conseguenza che nulla può più mantenere una forma definita per lungo tempo. In un contesto di liquidità ogni cosa diventa precaria proprio perché tutto invecchia tanto in fretta da non permetterci di percepire il sapore profondo. Se tutto ciò ha un senso, non possiamo fare finta di niente: l'idea di costruire educazione e formazione con i nostri studenti posando mattoni successivi fino a costruire l'abitazione non è coerente con il fluire del liquido che ci porta continuamente in un altrove imprevedibile. Ecco allora che le condizioni in cui opera la Scuola oggi e le strategie che essa cerca di mettere in atto rischiano di diventare obsolete prima ancora che i suoi studenti riescano a giovarsene. Di fronte a questo quadro di instabilità la Scuola non può pensare di educare come se questa crisi non esistesse: ad un mondo che si muove rapidamente non si può guardare stando fermi rischiando solo di alimentare impotenza, frustrazione, disgregazione sociale: sono infatti queste le *passioni tristi* più pericolose per nostri giovani perché rischiano di trasformare l'idea di *futuro-promessa* in quella ben più terrificata di *futuro-minaccia* [52]. In questo contesto occorre allora guardare al sapere come qualcosa di "mobile" onde evitare che le competenze si irrigidiscano su una spendibilità altrimenti inutilizzabile.

D'altra parte è chiaro che i contenuti delle Scienze Sperimentali non sono equiparabili a prodotti del mercato a cui associare una "data di scadenza". Se i contenuti delle Scienze Sperimentali proposti dalla Scuola, ma anche dalle altre agenzie formative, sono quelli che sono cos'è che può essere adattato ai ritmi della società liquida? Credo che oltre ai "contesti di senso" sempre più legati alla quotidianità (dunque al passo con il flusso dei cambiamenti) sia possibile rivedere gli aspetti metodologici entro il cui quadro si sviluppa il rapporto insegnamento-apprendimento. Se la società liquida ci propone delle "classi del sapere, volutamente "ibride", extraterritoriali, che si spostano e mutano di continuo consumi e stili di vita" [53], la risposta potrebbe essere quella di vivere la liquidità dotandosi di zattere in movimento (non necessariamente lineare), facendo in modo che la meta da raggiungere non sia un luogo ad esse estraneo, un porto proiettato in un futuro sempre più indefinibile, bensì il luogo stesso che esse rappresentano e su cui stiamo con i piedi ben piantati. Possiamo forse lavorare su queste "isole galleggianti" [54] e tuttavia dedicarci alla costruzione di ponti flessibili che ci permettano di passare

da una all'altra, malgrado esse si muovano contemporaneamente alla Società. Se questo ha un senso, allora occorre che gli insegnanti diventino "navigatori e pontieri", modificando i loro comportamenti coerentemente con la cultura delle geografie variabili, superando i contorni cristallizzati.

Ne scaturisce una verticalità che abbandona l'idea di successione lineare per recuperare la ricorsività legata al mutare dei contesti. Qui trova ulteriore giustificazione pedagogica la didattica laboratoriale in cui le strutture codificate si aprono alla *esperienza* [55]. Solo così è forse possibile sperare nella estrapolazione degli apprendimenti perché, trasformati in saperi, possano fornire quelle competenze flessibili che vengono richieste oggi senza perdere lo spessore della saggezza che rappresenta il portato delle Scienze Sperimentali.

Verticalità non significa scala successiva di contenuti, quanto navigazione nella profondità dei mari delle discipline da cui dipende l'incresparsi delle onde di superficie che gli studenti percepiscono nei differenti contesti della quotidianità. Così la Scuola non solo può restare a galla, ma può adattarsi al fluire della vita liquida e, con questo, tentare di rispondere alla sua missione formativa.

Naturalmente esiste una prospettiva completamente opposta a quella della scuola come "isola galleggiante" ed è quella che corrisponde alla "pedagogia della lumaca" [56] che si propone di invertire la relazione cinetica tra scuola società: quanto più la società accelera i suoi processi, tanto più la scuola si propone di rallentarli. Ciò significa dedicare più tempo alla parola, alla scoperta, alla corporeità, alla relazione tra Scienze Sperimentali e fenomeni naturali facendo esperienza di ritmi equilibrati e compatibili (ad esempio scegliere di rapportarsi con le Scienze Sperimentali facendo un orto a scuola per imparare tra l'altro che "ogni cosa ha la sua stagione" [57]. Qui la prospettiva è quella del "prenderci cura" indipendentemente dal flusso dei cambiamenti, badando alla qualità ben più che alla quantità e recuperando l'estetica della *lentezza* [58] proprio mentre tutto sembra muoversi lungo il vettore della velocità.

Queste due prospettive appaiono in contraddizione [59] solo se se ne accetta la reciproca impostazione come ideologica: quando invece le si prendesse a riferimento come metri di misura equipollenti per tentare di trovare, partendo da differenti prospettive, degli equilibri praticabili, allora ne scaturirebbe una mediazione virtuosa. Occorre forse che la scuola si muova lungo i flussi delle dinamiche sociali come se fosse un'isola galleggiante e tuttavia, con i piedi ben piantati sull'isola, docenti e studenti possono *prenderci i tempi necessari* per vivere la qualità del proprio insegnare-apprendere, in relazione ai ponti tra isola e isola, alla ricerca del sapere e della bellezza.

E così nuovamente, ma con forza ancora maggiore di quanto non sia scaturito fin qui, riaffiora la potenza pedagogica della prospettiva offerta dalla didattica laboratoriale, che innesta la pratica dell'esperienza vissuta

(secondo i tempi opportuni) sulla scoperta di attuali e coerenti “contesti di senso” (secondo i flussi dei cambiamenti sociali).

Dai contesti di senso al curricolo

Per “programma” si deve intendere una successione dei contenuti che rispondono, nella migliore delle ipotesi, alla epistemologia delle discipline di riferimento. Un “curricolo” è invece il risultato di un processo dinamico, articolato in fasi, non intese in modo rigidamente sequenziale, del tipo seguente: analisi della situazione, definizione e selezione degli obiettivi, selezione dei contenuti, strutturazione delle sequenze di apprendimento, scelta, selezione ed organizzazione di metodi e delle strategie didattiche, scelta e predisposizione dei materiali, realizzazione del lavoro didattico, verifica e valutazione. Per sviluppare un certo curricolo possono coesistere itinerari differenti, a patto che afferiscano agli stessi obiettivi [60]. Il curricolo si pone dunque come “congegno teorico-pratico” [61] capace di dare risposta culturale e didattica sia alle ragioni del soggetto che apprende, visto nella specificità e diversità del suo esistere, sia a quelle dell’insegnante che mette in campo la sua professionalità, sia a quelle dell’oggetto culturale che viene scelto come strumento di formazione. Il curricolo in questo senso favorisce l’assunzione nel lavoro scolastico dello stile sperimentale, della logica della ricerca, della flessibilità, modularità dell’azione didattica: pertanto è reale strumento di innovazione e trasformazione dell’azione didattica stessa [62].

Risulta dunque chiaro che il percorso educativo e formativo dell’allievo si deve fondare sugli obiettivi che s’intende raggiungere ed è del tutto evidente che questi non possono essere tracciati astrattamente, ma devono scaturire dalla definizione dei contesti di senso riconoscibili e riconosciuti da cui traggono motivazione e a cui offrono risposta. In questo senso ISS è pienamente coerente con il passaggio “dalla scuola del programma alla scuola del curricolo” [63] e coglie pienamente la necessità di portare la trattazione delle discipline oltre il confine epistemico che le definisce. Tuttavia ISS si muove su un’orizzonte che va ancora oltre per arrivare alla scuola delle competenze non in termini meramente utilitaristici, ma entro un quadro di cittadinanza attiva e responsabile [64].

Dalla scuola dei programmi alla scuola degli obiettivi di competenza

Il Piano ISS lavora certo sulla verticalità ma, per tutto quanto detto fin qui, intesa non come successione lineare ed enciclopedica di contenuti, bensì come sviluppo a differenti livelli di concetti fondanti di carattere disciplinare e trasdisciplinare. Contemporaneamente ISS lavora sulla trasversalità, non solo tra discipline, ma anche tra approcci complementari, che propongano le dimensioni trasversali dell’educazione [65] coerente con i contesti di senso. Ne scaturisce dunque la vera funzione di

tutto questo lavoro che è quella di stabilire degli *standard di apprendimento* funzionali ad una rete condivisa di *obiettivi di competenza*. In tal modo la proposta curricolare, nella sua accezione più ampia, si avvarrà di obiettivi finalmente chiari, riferiti a tematiche ricche di senso. Sarà possibile pervenire ai suddetti obiettivi percorrendo una pluralità di itinerari codificati e tuttavia flessibili, così da rispondere alle scelte dei Piani dell’Offerta Formativa previsti dalla Scuola dell’autonomia. Il riferimento forte agli *obiettivi di competenza*, orizzonte unitario e strategico per la scuola di oggi, qualifica finalmente il sistema formativo a carattere nazionale mentre lascia alle scuole, nell’ambito del POF, il compito di scegliere le linee di azione attuativa. Il processo che si apre con ISS rappresenta pertanto una vera e propria rivoluzione copernicana perché ri-colloca al centro dell’azione formativa il soggetto “studente” nella sua piena veste di cittadino e non di semplice utente. Non è infatti un caso che la didattica (segnatamente quella laboratoriale, ma non solo) lo veda protagonista di scelte, pur nell’ambito di contesti di accompagnamento. ISS si rivolge allo studente contemporaneo perché egli impari ad abitare gli ambiti del proprio sapere così da camminare di pari passo con il proprio tempo, forse su isole galleggianti, ma con i piedi ben piantati per terra. La speranza è che così egli possa permettersi, quando lo vorrà, di *contemplare le stelle senza il rischio di perdere l’equilibrio*.

Bibliografia

- [1] Giuseppe Cosentino, “Presentazione” in I SEMINARIO NAZIONALE, Documenti di lavoro 1”, Vol 1 (pp 7-8), Ministero della Pubblica Istruzione, Edizioni Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia “Leonardo da Vinci”, Milano 2006.
- [2] Il piano ISS si avvale della partecipazione delle Associazioni Scientifiche, DDSCI, AIF e ANISN, che a suo tempo avevano proposto il progetto al MPI e di quella dei Musei (Museo della Scienza e della Tecnologia di Milano e Città della Scienza di Napoli).
- [3] Tiziano Pera, “Le parole della Scienza”, materiali per ISS, Napoli 2007; Tiziano Pera, Lorella Maurizi, “Un glossario comune” in Trasformazioni 1, Piano ISS, I SEMINARIO NAZIONALE, Napoli 1, Vol 2 (pp 177-184), Ministero della Pubblica Istruzione, Napoli 2007.
- [4] Rubem Alves, “La scuola che ho sempre sognato, senza immaginare che potesse essere”,
- [5] James Hillman, “Politica della bellezza”, Moretti e Vitali Ed., Bergamo, 1999.
- [6] Dunque ciò che occorre per “svolgere compiti” in piena coscienza, cioè per essere “competenti”.
- [7] Enzo Tiezzi, “La bellezza e la scienza”, Raffaello Cortina Editore, Milano, 1998.
- [8] Mario Di Pietro, “L’educazione razionale-emotiva”, Erickson, Trento, 1995; Albert Ellis, “Ragione ed emozioni in psicoterapia”, Astrolabio, Roma, 1989.
- [9] Umberto Galimberti, “Psiche e techne, l’uomo nell’età della tecnica”, Feltrinelli, Milano, 2004.
- [10] Umberto Galimberti, “Il corpo”, Feltrinelli, Milano, 2003.
- [11] Gregory Bateson, “Mente e Natura”, Adelphi, Milano,

- 1979; "Verso un'ecologia della mente", Adelphi, Milano, 1976.
- [12] Enzo Tiezzi, "La bellezza e la scienza", Raffaello Cortina Editore, Milano, 1998.
- [13] Emilio Balzano, Rosarina Carpignano, Tiziano Pera, Filomena Rocca, "La didattica laboratoriale del Piano ISS" in Piano ISS, I SEMINARIO NAZIONALE, Documenti di lavoro, Vol 1 (pp 63-68), Ministero della Pubblica Istruzione, Edizioni Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci", Milano 2006.
- [14] Paolo Guidoni parla di "nuclei fondanti del pensare": un pensare che è capace di articolarsi in "modi di guardare" e in "strategie" risonanti nei confronti del reale". Vedi in P. Guidoni, "Per non giocare a far finta" in, "I diritti della Scuola" n.18 dello 01/06/98, Editore Petrini, Torino.
- [15] Gabriela Fiori, "Simone Weil, biografia di un pensiero", Garzanti, Milano, 2006.
- [16] Per comprendere a fondo la distinzione strutturale e pedagogica tra esperimento ed esperienza si veda Tiziano Pera e Lorella Maurizi, "dall'esperimento all'esperienza" in Le Trasformazioni, Piano ISS, I SEMINARIO NAZIONALE, Napoli 2, Vol 2 (pp 180-184 e pp 318-324), Ministero della Pubblica Istruzione, Napoli 2007.
- [17] Sono gli ambiti che costituiscono lo "sfondo" che ci consente di dare prospettiva alle nostre acquisizioni, così che sia per noi possibile accreditarle o meno.
- [18] Daniel Goleman, "L'intelligenza emotiva", che cos'è, perché può renderci felici", BUR, Rizzoli, Milano 2006; P.Salovey & J.Mayer (1990) - *Emotional Intelligence* - in *Imagination, Cognition and Personality*, vol 9(3) 185-211, 1989-90.
- [19] Raimon Panikkar, "Pensare la scienza", l'altrapagina, Città di Castello (PG), 2004; "La porta stretta della conoscenza", Rizzoli, 2005.
- [20] George A. Kelly *The Psychology of Personal Constructs*, Volume 1, Norton, New York, 1955; Don Bannister, Fay Fransella, "Inquiring Man, The psychology of personal constructs", Penguin Books, Harmondsworth, 1971 (tr. it. di Gabriele Chiari, Laura Nuzzo, "L'uomo ricercatore", Martinelli, Firenze, 1986).
- [21] Daniele Fedeli, "Emozioni e successo scolastico", Carrocci, Roma, 2006.
- [22] Questa idea della *tabula rasa* sostenuta verso la fine del 1600 da John Locke, malgrado la sua evidente inattualità e inaccettabilità, non è del tutto debellata, almeno nella prassi trasmissiva che ancora oggi risulta troppo spesso orientata in quella prospettiva.
- [23] Qui stanno le domande di senso e qui si comprende ISS come ambito di ricerca di senso.
- [24] Piaget dedica certa attenzione alle limitazioni che sarebbero poste all'attività mentale dall'evoluzione biologica lineare legata alle fasi della nostra crescita, ma occorrerà pure tenere anche sempre presente la "prodigiosa discontinuità" prodottasi nella nostra stessa evoluzione così da relativizzare il pensiero unico piagetiano basato sulla "serialità" ed accogliere gli spazi di iterazione e ricorsività. Cfr in Jerome Bruner, "La cultura dell'educazione", Feltrinelli, Milano, 2006.
- [25] Edgar Morin, "La testa ben fatta - riforma dell'insegnamento e riforma del pensiero", Raffaello Cortina Editore 2000.
- [26] Jerome Bruner, "La cultura dell'educazione", Feltrinelli, Milano, 2006.
- [27] Jerome Bruner, op. cit. (nota 22): la forma "onesta" riguarda il metodo ed il linguaggio adatte per rendere accessibile il tema coerentemente con il contesto nel quale esso si presenta,

che è certo differente per le diverse fasce d'età.

- [28] Si tratta degli *obiettivi di competenza* di cui parleremo più avanti.
- [29] Quello del linguaggio è un tema di grande spessore che Piaget non ha messo in piena luce facendolo semplicemente rientrare tra le strutture cognitive generali. Non ha senso qui entrare nel merito delle tesi innatiste sostenute autorevolmente da Noam Chomsky in "Regole e rappresentazioni" (Il Saggiatore, Milano, 1988) secondo il quale saremmo dotati fin dalla nascita di un "organo del linguaggio" deputato allo sviluppo delle strutture grammaticali-lessicali, tuttavia bisogna ammettere che il nostro genoma appare straordinariamente adatto a cogliere queste stesse strutture.
- [30] "La realtà si crea, non la si trova", in Nelson Goodman, "Vedere e costruire il mondo", Laterza, Roma-Bari, 1988.
- [31] Da una intervista apparsa su *Il corriere della sera* del 18/02/07.
- [32] Paolo Guidoni (ibidem), a proposito del rapporto con gli studenti riporta le parole di L. Wittgenstein ed invita ad "andarci a prendere dove sono, trovando strade adatte a portarli dove li vogliamo portare" e cioè per abituarli a camminare da soli (a scegliere criticamente la loro strada).
- [33] Nelson Goodman, op. cit. (nota 27).
- [34] Non si tratta certo di finalizzarla al *laboratorio verificativo*, quanto piuttosto al *laboratorio formativo*.
- [35] Burrhus Frederic Skinner, "Oltre la libertà e la dignità", Mondadori, Milano, 1973.
- [36] Il percorso è illustrato concretamente in Tiziano Pera, Lorella Maurizi, *Trasformazioni*, Piano ISS, I seminario nazionale, Napoli 1e 2, Vol 2 (pp 175- e 313-327), Ministero della Pubblica Istruzione, Napoli 2007.
- [37] Paulo Freire, "Pedagogia dell'autonomia, sapere necessari per la pratica educativa", EDA Editore, Torino, 2004.
- [38] Orlando Franceschelli, "Dio e Darwin", Donzelli Editore, Roma, 2005.
- [39] Compatibile implica la condivisione di passione nella relazione io-mondo e dunque è ben più rilevante che sostenibile ove l'obiettivo massimo, pur da non sottovalutare, è comunque semplicemente un bilancio di risorse in entrata e uscita rispettoso di un equilibrio che va salvaguardato.
- [40] Michel Eyquem de Montaigne, filosofo e scrittore francese, (1533 - 1592).
- [41] La stessa cosa sosteneva già nel '600 il pedagogista Comenius in un suo splendido libro dal titolo molto significativo "Orbis sensualium pictus" ovvero "Il mondo dipinto".
- [42] La capacità di compiere astrazioni è presente a qualsiasi età: ciò che cambia è naturalmente la tipologia della astrazione ed il tenore della profondità a cui può pervenire in riferimento ai prototipi adulti.
- [43] Howard Gardner, "Formae mentis. Saggio sulla pluralità dell'intelligenza", Feltrinelli, Milano, 1987; "Educare al comprendere. Stereotipi infantili e apprendimento scolastico", Feltrinelli, Milano, 1993.
- [44] Daniel Goleman, "Intelligenza emotiva", Rizzoli, Milano, 2007.
- [45] "La responsabilità delle competenze", di questo parla tra l'altro Heinz von Foerster IN "Sistemi che osservano", Astrolabio, Ubaldini Editore, Roma, 1987.
- [46] Robert Rosenthal e Leonore Jacobson, "Pigmazione in classe. Aspettative degli insegnanti e sviluppo intellettuale degli allievi", Franco Angeli, Milano, 1972.
- [47] Il concetto di co-evoluzione è proprio della *educazione ambientale* ed infatti la scuola costituisce un "ambiente" che potrebbe essere indagato anche sotto questo profilo.

- [48] Emmanuel Levinass, "Tra noi, saggi sul pensare-all'altro", Jaka Book, Milano, 1998.
- [49] Anche, perché, per certi versi, non ci sarebbe forse nulla da rimpiangere.
- [50] Zygmund Bauman, "Vita liquida", Laterza, Roma-Bari, 2006.
- [51] Rita Vittori, "L'educazione liquida" in CemMondialità N.6, CSAM, Brescia, Giugno-Luglio 2006.
- [52] Miguel Benasayag, Gérard Schmit, "L'epoca delle passioni tristi", Feltrinelli, Milano, 2004.
- [53] Zygmund Bauman, ibidem.
- [54] Eugenio Barba, "Aldilà delle isole galleggianti", Ubulibri, Milano, 1985.
- [55] In questo caso, riferito alla didattica laboratoriale, il termine non è generico, ma assume un preciso significato legato alle modalità utili a fare assumere responsabilità di scelta da parte dello studente circa azioni di cui è pienamente responsabile in termini di motivazione, azione, riflessione sull'azione.
- [56] Gianfranco Cavalloni, "La pedagogia della lumaca", in CemMondialità N.4, CSAM, Brescia, Aprile 2003.
- [57] Fritjof Capra, "Ecoalfabeto, l'orto dei bambini", Nuovi Equilibri, Viterbo, 2005.
- [58] Christoph Baker, "Ozio, lentezza e nostalgia", EMI, Bologna, 1997.
- [59] Efficientista e ipermodernista la prima, tradizionalista e conservatrice la seconda.
- [60] Dunque non tanto funzionali alle propedeuticità intrinseche alla disciplina quanto agli obiettivi.
- [61] Franco Frabboni, "Le dieci parole della didattica", Mondadori, Milano, 1994.
- [62] Floriana Falcinelli, "Un curriculum di media education nella scuola di base: indicazioni generali", Intermed, 2003.
- [63] Carlo Fiorentini, "Il passaggio dal programma al curriculum come centro della nuova scuola", in Franco Cambi (a cura di), "La progettazione curricolare nella scuola contemporanea", Carocci Ed., Roma, 2002.
- [64] L'idea di cittadinanza attiva e responsabile implica una assunzione critica degli obiettivi di competenza proprio perché rimodulabili entro contesti di senso che evolvono con la società riattualizzando la relazione tra cultura e storia. Anche qui emerge un legame indissolubile tra sistema formativo nazionale e autonomia scolastica.
- [65] Fabio Olmi, Catia Pardini, "Curricoli e percorsi didattici: tra verticalità e trasversalità", in Naturalmente N.4, ANISN Pisa, dicembre 2006.

