

Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

CnS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA



Calorimetro progettato e utilizzato da Pierre-Louis Dulong

**A PROPOSITO
DELLE SSIS**

**MOLE E QUANTITÀ
DI SOSTANZA**

POLIMERI CONDUTTORI



Società Chimica Italiana

Anno XXIV
Novembre - Dicembre 2002

Direttore responsabile

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

Redattore

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

Comitato di redazione

Liberato Cardellini, Giacomo Costa (*Presidente della Divisione di Didattica*), Pasquale Fetto, Ermanno Niccoli, Raffaele Pentimalli, Pierluigi Riani, Paolo Edgardo Todesco

Comitato Scientifico

Luca Benedetti, Aldo Borsese, Carlo Busetto, Rinaldo Cervellati, Luigi Cerruti, Giacomo Costa, Franco Frabboni, Gianni Michelon, Ezio Roletto, Eugenio Torracca

Editing

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

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

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

Ufficio Abbonamenti

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

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

SOMMARIO

EDITORIALE

A proposito delle SSIS **145**
di *Paolo Edgardo Todesco*

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Osservazioni sul concetto di quantità di sostanza
e sulla mole II parte **147**
di *Francesca Turco, Luigi Cerruti*
About the mole and the amount of substance. II. *Abstract*

Polimeri conduttori **157**
di *Giacomo Ruggeri*
Conducting Polymers. *Abstract*

COMUNICAZIONI BREVI

I bambini e le definizioni scientifiche **162**
di *Eleonora Aquilini*

LABORATORIO E DINTORNI

Simulazione *semiseria* di un inceneritore per rifiuti **166**
di *Antonella Casarini, M.Grazia Cazzato,*
Marina Conti, Sandra Esposito
Semi-serious simulation of a waste incinerator. *Abstract*

Esperimenti relativi ai fullereni **170**
di *Roberto Soldà, Livia Marcato*

RUBRICHE

UNO SGUARDO DALLA CATTEDRA
Riflessioni sul rapporto tra psicologia dell'educazione
e insegnamento **173**

ACHILLE E LA TARTARUGA **175**
L'ordine e la confusione. Un approfondimento sulle
Directories

LETTERE **164**

A PROPOSITO DELLE SSIS

Le SSIS a mio parere sono state e sono un ottimo investimento e sono nate anche per la precedente proficua attività dei centri interdipartimentali di ricerca in didattica esistenti in diverse Università. Nei centri di ricerca in didattica si sono messe a punto più che decennali attività in comune fra le diverse aree che nell'Università si sono da sempre occupate e si occupano di Didattica. Voglio ricordare qui la eccezionale figura di Mario Gattullo, insigne protagonista nelle Scienze della formazione dell'Ateneo di Bologna che ha sempre cercato e voluto la collaborazione e la integrazione di tutti i docenti che si occupano di didattica.

Infatti le SSIS sono state organizzate a livello di Università e non di Facoltà, richiedendo il contributo essenziale di discipline pedagogiche e di didattiche disciplinari, le cui competenze sono sparse in molte facoltà, diverse. Si è creata così un'area comune, valida per tutte le classi di concorso, accompagnata da aree di didattiche disciplinari, a seconda della classe di abilitazione richiesta. Si è nei fatti messa a punto una efficiente collaborazione fra docenti di molte facoltà con interazioni del tutto positive.

Ovviamente la creazione delle SSIS non ignora il fatto che se le stesse dovranno creare i futuri insegnanti non devono per questo danneggiare gli attuali precari e il personale che fino ad ora ha dovuto passare attraverso i concorsi nazionali di abilitazione.

Non è però accettabile che per favorire i precari si svalutino a priori i diplomati delle SSIS.

Un grosso ostacolo alla vita delle SSIS è infatti costituito da una campagna di opinione pubblica da parte dei supplenti e dal personale precario della scuola fino ad oggi introdotti nell'insegnamento tramite graduatorie o con i concorsi di abilitazione tradizionali o ancora con sanatorie e corsi brevi istituiti dai provveditorati, situazioni che tutti noi speriamo vadano a soluzione nei tempi più brevi possibili.

I giornali sono stati inondati di lettere di supplenti che additavano gli abilitati nelle SSIS come gente che senza avere fatto niente aveva comprato il titolo

solo grazie alla elevata tasso di frequenza da pagare alle Università e di conseguenza li superava nelle graduatorie in modo truffaldino.

La cosa spiacevole è stata che gli interventi da parte del coordinamento delle SSIS a difesa delle SSIS non sono riusciti a comparire sui giornali, che pubblicano solo quello che vogliono. Solo più tardi, avendo preso nota del fatto che le nostre segnalazioni erano state completamente ignorate, abbiamo sollecitato gli studenti a mandare lettere di proteste personali, che sono in parte comparse sui giornali nazionali, a parziale ristabilimento della realtà delle SSIS.

Le SSIS e i discenti che le hanno frequentate vanno assolutamente difesi da questo attacco. Avendo superato le prove di ingresso i partecipanti alle SSIS nei due anni di corso hanno svolto una intensa attività di lezioni sulle materie pedagogiche dell'area comune e sulle didattiche disciplinari per cinque pomeriggi alla settimana, con attività frontali e di laboratorio, e per due semestri per anno, oltre a compiere un semestre di tirocinio pratico nelle scuole sotto la guida di volonterosi e bravi Coordinatori e Tutors che qui ringraziamo di cuore.

Per superare gli esami di didattica disciplinare i partecipanti hanno dovuto preparare dei progetti di moduli di insegnamento su possibili argomenti previsti dalla classe.

Infine per l'esame finale i discenti hanno dovuto presentare un progetto didattico che nell'esame stesso è stato discusso a fondo.

Ovviamente, essendo le SSIS appena istituite, è sembrato opportuno ad alcuni cambiarle senza consultare per nulla gli organismi che le avevano attivate.

Al momento sembra che l'orientamento sia quello di adottare pienamente lo schema 3 + 2 creando quindi presso le facoltà delle lauree specialistiche in didattica da frequentare dopo un primo livello di laurea triennale sempre impartito dalle facoltà.

L'impianto 3 + 2 a noi sembra più che buono, avendolo anche sostenuto più volte per quel che riguarda la preparazione all'insegnamento perché in que-

sto modo si riuscirebbe a produrre insegnanti di età giovane ed entusiasta.

Nelle nostre opinioni la laurea specialistica deve però rimanere integrata e affidata alla Università nel suo complesso e non alle singole facoltà. Il grosso rischio è invece che l'impianto del 3 + 2 venga attuato nelle singole facoltà. Ciascuna facoltà andrà a caccia di docenti dell'area comune da utilizzare in proprio, creando un inutile sovraccarico ai non numerosi docenti dell'area comune, con moltiplicazione di corsi che invece hanno senso solo se rimangono

non unitari per tutte le singole classi di insegnamento.

Per quel che riguarda la attuale area delle didattiche disciplinari c'è il rischio che le singole facoltà vedano i corsi di didattica delle discipline come corsi di sola disciplina senza valutare gli aspetti didattici, da affidare a chiunque sia presente in facoltà e non si sappia dove mettere, in genere i docenti più scarsi che non hanno trovato sistemazione nei corsi disciplinari di base più importanti.

Questo vorrebbe dire formare male la nuova classe docente e va evitato nel modo più assoluto.

X CONVEGNO DI STORIA E FONDAMENTI DELLA CHIMICA PAVIA OTTOBRE 2003 PRIMA CIRCOLARE

Il X Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica si terrà a Pavia presso il Museo per la Storia dell'Università nella seconda metà di ottobre 2003. Esso sarà organizzato congiuntamente dal Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica, dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia e dal Museo per la Storia dell'Università di Pavia.

Il Convegno comprenderà conferenze ad invito e comunicazioni scientifiche.

Si prevede di articolare i lavori nelle seguenti aree tematiche:

I chimici e la Chimica (riflessioni storiche ed epistemologiche sulle teorie, i concetti e i fondamenti della disciplina)

La Chimica e le altre scienze (studi/ricerche interdisciplinari, intersezioni tra la disciplina e le altre scienze della natura quali fisica, medicina, botanica, astronomia ecc.)

La Chimica e l'Europa (circolazione delle idee nei vari paesi europei, scuole scientifiche, problemi)

Chimica e Didattica (storia della didattica della disciplina, analisi dell'evoluzione dei manuali, rapporti tra storia ed insegnamento)

Chimica e Società (Chimica e artigianato, industrie, istituzioni)

Entro il 31 gennaio 2003 dovrà pervenire la scheda di adesione allegata, con l'indicazione del titolo della eventuale comunicazione che si intende presentare e dell'area tematica nella quale essa potrebbe collocarsi.

Entro il 31 marzo 2003 dovranno improrogabilmente pervenire i titoli definitivi. Per essere presi in considerazione dal Comitato scientifico, che deciderà insindacabilmente circa l'accettazione, essi dovranno essere accompagnati dall'indicazione dell'area tematica, dai nomi degli eventuali coautori, e da un riassunto di circa 1 cartella completo di preliminary bibliografia.

Le schede di adesione e i riassunti potranno essere spediti preferibilmente per posta elettronica al seguente indirizzo: mmciardi@iol.it (se possibile allegare il riassunto in formato .rtf) In alternativa è comunque possibile inviarli per posta a:

Marco Ciardi

c/o Istituto e Museo di Storia della Scienza,

Piazza dei Giudici 1, 50122

FIRENZE.

**Scheda di adesione
pag. 165**

A tutti coloro che avranno comunque restituito la scheda di adesione compilata sarà inviata la seconda circolare, che fornirà le date esatte di svolgimento del convegno, le opportune informazioni per le prenotazioni alberghiere ed un programma di massima dei lavori.

Si precisa sin d'ora che le quote di partecipazione fino al 15 settembre saranno di 30 euro per i soci del GNFS e gli insegnanti della scuola secondaria superiore e 60 euro per i non soci. Dopo il 15 settembre le quote saranno aumentate del 50%. Le modalità di pagamento verranno indicate nella seconda circolare.

Si ricorda infine che durante i lavori del Convegno si terrà l'assemblea dei soci del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica.

Per i Soci Insegnanti della Divisione di Didattica

Il Direttivo della Divisione fa presente che, i Soci Insegnanti della Divisione che invieranno contributi al X Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica, qualora accettati, riceveranno un contributo a totale copertura delle spese di viaggio e di soggiorno.

Osservazioni sulla quantità di sostanza e sulla mole II. Breve storia di una grandezza fondamentale

Riassunto

In questa seconda parte della nostra ricerca sulla mole vengono affrontati gli aspetti storici del concetto di quantità di sostanza. Dall'antica necessità artigianale di effettuare delle misure che sottendono un concetto ancora privo di razionalizzazione viene brevemente ripercorsa l'evoluzione delle conoscenze chimiche che hanno da un lato permesso di fornire significato al concetto di quantità di sostanza e dall'altro reso necessaria la formalizzazione di un'unità di misura ufficiale per questa grandezza. Si vedrà infine come questa necessità, scarsamente compresa dai non chimici, abbia tardato ad essere realizzata dalle varie commissioni metrologiche competenti.

Abstract

In the second part of the research on the mole concept, we examine the historical aspects of the concept of quantity of substance. In many old industries and trades, it was necessary to find out relative values of quantity of substance, however the concept itself was hidden. The concept evolved with the chemical knowledge, and eventually, when it was possible to give a precise meaning to the concept of quantity of substance, it was necessary to formalize the relative unit of measurement. Lastly, this necessity was badly understood by non-chemists, so the formal and authoritative definition of mole was delayed by several competent metrological commissions.

1. Introduzione

Questa parte della nostra ricerca sulla quantità di sostanza e sulla mole ha avuto origine da una semplice constatazione. Mentre esistono testi

Dipartimento di Chimica Generale e Organica Applicata,
C.so M. D'Azeglio, 48 - Torino
francesca.turco@unito.it
luigi.cerruti@unito.it

Movembre - Dicembre 2002

FRANCESCA TURCO
LUIGI CERRUTI

famosi sulla storia del concetto di massa e del concetto di forza, la storia del riconoscimento della quantità di sostanza come grandezza fisica fondamentale non è ancora stata scritta. Si tratta di una constatazione assai semplice, che però non segnala soltanto una specie di 'buco' nell'enciclopedia filosofica della scienza, ma indica una mancanza più grave, quella dell'impegno epistemologico da parte della comunità dei chimici. La ricerca in storia della scienza è guidata spesso (quasi sempre) dalla rilevanza filosofica attuale o presunta di concetti, teorie, discipline. Vi sono così – valutando all'ingrosso – molte storie delle teorie fisiche, poche storie delle teorie chimiche, e pochissime storie delle pratiche sperimentali di tutte quante le discipline.¹ Tuttavia anche la chimica ha un discreto patrimonio storiografico, e per gli scopi didattico-educativi che ci prefiggiamo può servire da punto di partenza una rilettura di testi secondari e qualche 'saggio alla tocca' di testi primari. Sarà così messa a disposizione del lettore di *CnS* almeno una traccia dello sviluppo nel tempo della misura della quantità di sostanza.

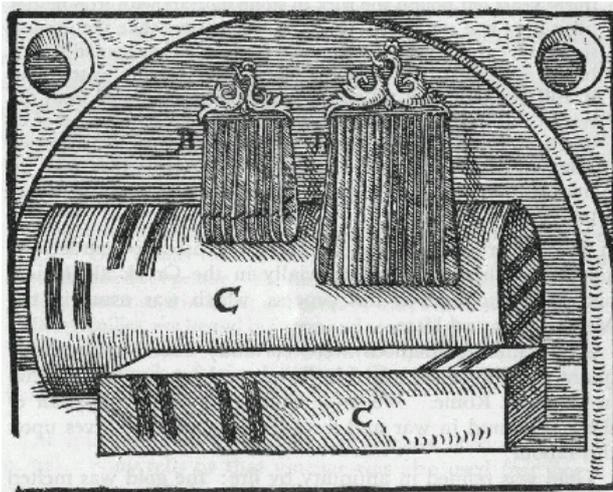


Fig.1 Aghi e pietre di paragone per determinare il tenore in oro di leghe con argento e rame

¹ Si potrebbe parlare di *invisibilità degli strumenti*; cfr. L. Cerruti, "Procedure conoscitive e culture disciplinari. Un'analisi storiografica", in: G. Battimelli, E. Gagliasso (a cura di), *Le comunità scientifiche fra storia e sociologia della scienza*, Quaderni della Rivista di Storia della Scienza, n. 2, 1992, pp. 83-122.

² Alla italiana [pietra di paragone] corrispondono termini 'sensibili' in francese, [pierres de touche], e in inglese [touch-stone], mentre in tedesco troviamo un più neutro [Prüfstein].

asservite all'estrazione di questo metallo 'nobile', ma la qualità dell'oro ottenuto era piuttosto variabile, per la presenza di rame e di argento, e non mancavano certamente i tentativi di imitazione truffaldina con leghe varie. Così si cominciò a stimare il contenuto di metallo prezioso di un campione strisciandolo su una pietra dura e nera (ad esempio diaspro), e confrontando il colore e l'aspetto dello striscio con quelli ottenuti nelle stesse condizioni da campioni con tenori diversi di oro, a partire dal più puro possibile nelle condizioni tecniche del luogo – o del tempo.

La Fig. 1 è tratta dal *De re metallica* di Agricola,³ edito nel 1556, e mostra la pietra di paragone accompagnata da 24 aghi numerati, ottenuti con oro purissimo e quantità note di rame, di argento o di entrambi.

La valutazione del tenore in oro con la pietra di paragone è giunta fino ai giorni nostri.[1]

Non più breve di quella dell'oro ma più varia è la storia del consumo di alcool (etilico, si intende), che ha accompagnato e rallegrato l'umanità a tutte le latitudini in cui è stato possibile far fermentare dei liquidi zuccherini. Il consumo di superalcolici, ossia di distillati, è più recente, e in Europa risale al medioevo. Il primo test in uso sembra essere consistito nell'inzuppare del liquore in esame uno straccio e nell'avvicinarlo ad una fiamma. Se lo straccio prendeva fuoco, il liquore era ritenuto soddisfacente. In



Fig. 2 Aerometro in uso all'inizio del '900. con la scala proposta da Gay-Lussac

Inghilterra il test si perfezionò dopo l'introduzione della polvere da sparo. Si metteva un po' di polvere da sparo in un cucchiaino, la si ricopriva con il liquore in esame e si accendeva il campione. Se esaurita la fiamma la polvere esplodeva il liquore era ritenuto *proof spirit*, e cioè con metà del suo peso in alcool o più forte ancora (dopo altre prove con opportune diluizioni).[2] Le attuali legislazioni britannica e statunitensi divergono un po' sul valore attuale da assegnare al *proof spirit*, tuttavia con ottima approssimazione un *80 proof whisky* americano o irlandese contiene il 40% in peso di alcool.

Il terzo caso che ricordiamo è la misura della concentrazione di una soluzione mediante areometro, introdotta – o perfezionata – nel 1784 da Antoine Baumé (1728 - 1804), farmacista e chimico francese.[3] L'areometro di Baumé è del tipo detto *a peso costante*, in cui varia il volume della parte immersa dello strumento al variare della densità del liquido. Gli areometri di Baumé erano (e sono) strumenti dotati di graduazioni opportune che consentono di conoscere direttamente il titolo di una soluzione di acido, di alcool, di sale, di materie grasse del latte, ecc.; se posti nell'acqua pura il livello di galleggiamento coincide con lo zero della scala graduata. La graduazione è arbitraria, in gradi Baumé (°Bé) appunto, essa consente però di valutare la concentrazione di qualunque soluzione, sempre in termini di una stessa unità e con un unico strumento di misura (Fig. 2).

L'analisi dettagliata dei tre metodi citati sarebbe piuttosto interessante, per via delle così diverse proprietà dei campioni che sono messe alla prova,⁴ tuttavia si possono almeno fare due sottolineature. Il più antico dei metodi era a modo suo più generale degli altri due, in quanto confrontava la compresenza possibile di tre metalli, mentre negli altri casi la sostanza di riferimento era una sola, l'alcool per il *proof spirit*, ancora l'alcool, o qualche acido o altra singola sostanza per i gradi Baumé. Più significativo il fatto che

Quantità di sostanza e mole. Il parte

quando Baumé propose il suo metodo di misura delle concentrazioni (ancora in uso al giorno d'oggi) ben poco si sapeva delle sostanze di cui si misurava la presenza quantitativa nelle soluzioni: la determinazione della quantità di sostanza disciolta precedette di gran lunga la conoscenza della composizione della sostanza coinvolta.

2.2 La lunga strada verso gli equivalenti

Le esigenze quantitative della pratica artigianale erano in molti casi stringenti, in quanto era dal rispetto di opportuni rapporti quantitativi fra le sostanze impiegate che dipendeva la riuscita qualitativa del prodotto finale, ad esempio il colore perfetto e la lucentezza di uno smalto. Tuttavia, malgrado l'enorme mole di conoscenze accumulata nelle officine e nei distretti minerari, ciascuno dei tanti materiali rimaneva *cosa a sé*, e la relazione fra di loro era di 'convergenza', finalizzata verso il risultato da ottenere, così, in modo esemplare, era il caso dei numerosissimi e diversi minerali utilizzati per colorare gli smalti. A partire dalla fine del Seicento lo sviluppo della chimica scientifica portò in luce un'altra necessità, e cioè quella di confrontare *fra di loro* le proprietà chimiche di campioni diversi contenenti la stessa sostanza, o anche sostanze diverse con proprietà della stessa natura, acida o basica in primo luogo. Nel 1698 fu proposto un metodo per determinare la quantità di acido contenuto in campioni di aceto distillato; la procedura consisteva nella neutralizzazione della soluzione con carbonato di potassio, evaporazione e pesata del sale solido.⁵ L'anno successivo il metodo fu ripreso da Wilhelm Homberg (1652-1715) che cercò di determinare la concentrazione di diversi acidi, assumendo come misura la differenza di peso fra il carbonato di potassio impiegato per la neutralizzazione e il sale ottenuto. Nelle sue esperienze Homberg trascurò del tutto lo sviluppo della CO₂ (la chimica pneumatica doveva ancora nascere), ma giunse a conclusioni interessanti: che i diversi acidi differivano per il loro contenuto in acqua, che gli acidi –se 'anidri' – si sarebbero combinati in proporzioni eguali con gli alcali, ma che in ogni caso la "forza attiva" di ciascun acido poteva essere misurata dai pesi dello stesso alcale che neutralizzavano pesi identici di acidi diversi.⁶

³ Agricola era il nome umanistico di Georg Bauer (1494-1555), medico e mineralista tedesco

⁴ Si pensi ad esempio, nel caso della pietra di paragone, al gioco fra la *qualità visibile* delle tracce sulla pietra e la *quantità relativa* di oro, argento e rame, nota per gli aghi e ignota per il campione in esame.

⁵ L'impiego di indicatori come il tornasole era entrato nell'uso corrente di laboratorio dopo la metà del Seicento. [4]

⁶ Tutta la presente sezione 2.2 si basa interamente sull'impareggiabile opera di Partington.[5]

L'opera di Homberg apriva la strada al riconoscimento dell'esistenza di quantità di sostanza di valore numerico diverso e tuttavia in grado di esprimere un identico livello di attività chimica. Là dove la misura fisica di peso affermava una identità dei campioni rispetto alla massa, la misura chimica della neutralizzazione denunciava una diversità irriducibile: si era incontrato un bivio dove le linee di ricerca di fisica e chimica divergevano, e solo il fatto che non vi era alcuna specializzazione disciplinare azzerò il significato di questo evento epistemologico.

La scoperta di Homberg rimase senza conseguenze, sia perché lo stesso Autore era più abile nelle pratiche sperimentali che nelle riflessioni teoriche, sia perché i successivi sviluppi della chimica si incentrarono sulla ricerca di nuove sostanze (si profilava anche il concetto fondamentale di purezza) e sull'elaborazione della prima importante teoria chimica, quella del flogisto. Si deve anche tener conto che fino all'affermazione delle proposte di Lavoisier non vi era nemmeno un concetto condiviso, consolidato e operativo di elemento e quindi anche di composizione. Le possibilità e le difficoltà di una simile situazione conoscitiva sono bene esemplificate da alcune ricerche di Henry Cavendish (1731-1810), uno dei più grandi scienziati del Settecento.

In chimica come in fisica Cavendish fu uno sperimentale creativo, scrupoloso fino ad un limite maniacale. Nel 1767 le *Philosophical Transactions* pubblicarono una breve nota di Cavendish sull'analisi dell'acqua estratta dal sottosuolo londinese, in località Rathbone Place. In questo scritto l'Autore dice di aver usato in un esperimento "tanto alcali fisso [K_2CO_3], quanto era equivalente (*equivalent*) a 46 grani e 8/10 di terra calcarea [$CaCO_3$], quanto cioè avrebbe saturato altrettanto acido". Questa sembra la prima traccia della parola [equivalent] trovata in letteratura, ma il nostro Autore impiegò altre volte il concetto di equivalente, senza curarsi nemmeno di dargli un nome. Nel 1788 Cavendish determinò la forza di campioni di acido solforico precipitando il solfato insolubile con acetato di piombo. Nell'articolo pubblicato come sempre sulle *Philosophical Transactions* l'Autore afferma che calcolò la forza dell'acido "supponendo che una quantità di

olio di vetriolo [H_2SO_4], sufficiente per

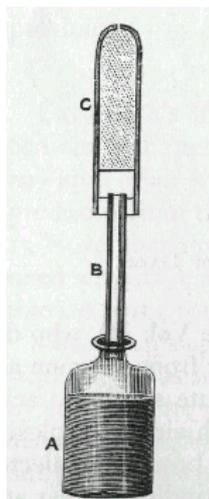


Fig.3 Apparato utilizzato da Cavendish per determinare il peso di gas sviluppati durante una reazione

produrre 100 parti di *plumbum vitriolatum* [$PbSO_4$], dissolva 33 [parti] di marmo; infatti ho trovato sperimentalmente che altrettanto olio di vetriolo saturerebbe tanto alcali fisso quanto una quantità di acido nitroso [nitrico] sufficiente a dissolvere 33 di marmo".[6] I pesi molecolari del solfato di piombo e del carbonato di calcio sono 303 e 100, così che il rapporto $PbSO_4/CaCO_3$ è eguale a 100/33 come determinato da Cavendish. Qui vediamo che il nostro

fondamentale che presentava le stesse proprietà, l'acido nitrico; per fare questo applica la legge stechiometrica che più tardi sarà definita delle proporzioni reciproche o equivalenti, e che sarà attribuita (giustamente) al tedesco Benjamin Richter (1762-1807). Cavendish utilizzò più volte, e in diversi contesti, il concetto di equivalente. Nelle importanti note sulle 'arie artificiali' (*factitious airs*) del 1766 determinò il peso dei metalli zinco, ferro e stagno che davano lo stesso volume di idrogeno, trovando valori che stanno nello stesso ordine dei nostri equivalenti. Uno degli apparati utilizzati dallo scienziato inglese è riportato in Fig. 3.

Cavendish non diede alcun rilievo alla sua scoperta, quasi fosse un 'modo di fare' ovvio, e d'altra parte nel 1777 aveva già condotto una ricerca magistrale, in cui aveva confrontato la conducibilità elettrica di soluzioni contenenti la stessa frazione di equivalenti di acidi e di sali, disciolta in volumi eguali di acqua. In Tab. 1 sono riportati alcuni dei valori utilizzati da Cavendish, che probabilmente si basava su $CaCO_3 = 100$, confrontati con quelli usuali per noi.

Se si pensa alla difficoltà della misu-

Tab. 1 Gli equivalenti di Cavendish, 1777

Designazione di Cavendish	Simbolo attuale	Peso utilizzato da Cavendish	Equivalente attuale
Sale marino	NaCl	37,2	58,5
Sale di Silvio	KCl	74	74,5
Sal ammoniaca	NH_4Cl	51	53,5
Sale di Glauber calcinato	$\frac{1}{2} Na_2SO_4$	69	71
Nitro quadrangolare	$NaNO_3$	89	85
Olio di vetriolo	$\frac{1}{2} H_2SO_4$	48	49

Autore sta seguendo due linee di azione diverse e intrecciate. La prima gli permette di valutare in modo quantitativo la forza di una soluzione qualsiasi di acido solforico attraverso il peso di un certo precipitato, si tratta quindi di una vera e propria titolazione. La seconda linea di azione non riguarda più soltanto l'acido solforico, ma connette le sue proprietà come acido con l'altra sostanza

ra⁷ la Tab 1 - eccetto il valore per il sale comune - indica ancora una volta l'eccellenza di Cavendish come sperimentatore. Per altro tutte queste ricerche di Cavendish, ed altre che abbiamo tralasciato, sottolineano che una cosa è trovare relazioni ed ottenere numeri precisi, ed altra cosa è inserire queste relazioni e questi numeri in un quadro teorico adeguato al loro rilievo conoscitivo.

⁷ Volta inventò la pila più di venti anni dopo. Nelle sue esperienze Cavendish utilizzò le scariche di una bottiglia di Leida.[7]

3. Lo sviluppo della teoria atomico-molecolare

Dopo la legge della conservazione della massa nelle reazioni chimiche, enunciata chiaramente da Lavoisier nel *Traité* del 1789, le leggi stechiometriche furono scoperte, proposte e discusse nei due decenni seguenti, con un processo piuttosto complicato che esula dalla nostra ricerca⁸ e con un'interazione via via più netta con una concezione particellare della materia, come si vedrà fra breve.

3.1 Dalton, Gay-Lussac, Avogadro *et al.*

In questa sezione vedremo l'interazione fra quelle ricerche sperimentali e teoriche, condotte in Inghilterra, Francia e Italia, che diedero al mondo scientifico i fondamenti della teoria atomico molecolare.⁹

Poche teorie hanno una data di nascita così 'precisa' come la teoria Daltoniana. Nei suoi appunti di laboratorio John Dalton (1766-1844) tracciava nei suoi appunti la prima tavola dei pesi atomici nel giorno del proprio compleanno, il 6 settembre 1803. Posto l'idrogeno eguale ad 1, Dalton elencava i valori di altri quattro elementi (ossigeno, 5,66; azoto, 4; carbonio, 4,5; solfo, 17); i dati numerici erano poco accurati ma si basavano tutti su analisi compiute da chimici di grande prestigio. La ricerca in cui si iscriveva questa serie di numeri può apparire a prima vista lontana da uno specifico interesse chimico, il nostro scienziato infatti stava lavorando sugli aspetti teorici e sperimentali della solubilità dei gas nei liquidi. William Henry aveva enunciato nel dicembre dell'anno precedente la legge che porta il suo nome, e un aspetto sperimentale che 'tormentava' Dalton era il fatto che i gas reali non sembravano riducibili a punti materiali dotati di una massa senza altre 'qualità', ogni gas infatti rispettava la legge di Henry a modo suo: "La maggiore difficoltà che incontra l'ipotesi meccanica nasce dal fatto che gas differenti osservano leggi differenti. Perché l'acqua non assume lo stesso volume per tutti i gas?" Dalton era un convinto Newtoniano, e l'interrogativo fu formulato in una

conferenza tenuta il 21 ottobre 1803, ma egli stava già lavorando da parecchio tempo sul problema, in particolare sul comportamento degli ossidi d'azoto. Il 4 agosto aveva potuto scrivere nel suo diario: "ne segue che l'ossigeno si aggiunge al gas nit. [NO] talvolta 1,7 a 1, e altre volte 3,4 a 1". Sull'effetto conoscitivo di questi dati abbiamo la testimonianza di Dalton stesso, data però otto anni dopo, nel 1811: "Ricordo la forte impressione che in un periodo molto iniziale di queste ricerche mi fece l'osservare le proporzioni fra ossigeno e azoto, come 1, 2, e 3, nell'ossido nitroso, nel gas nitroso e nell'acido nitroso [N₂O, NO, N₂O₃]". La chiara assunzione che i corpi semplici potevano combinarsi non solo in proporzioni definite, come gran parte della comunità scientifica era ormai disposta ad ammettere, ma anche in proporzioni multiple nasceva contestualmente all'ipotesi che questi multipli dovessero pure riferirsi a 'qualcosa' che si trovasse 'moltiplicato', per numeri interi, nei diversi composti che potevano dare due corpi elementari. Questo 'qualcosa' fu appunto l'atomo di Dalton.

Il mondo scientifico venne a conoscenza delle riflessioni di Dalton attraverso una via piuttosto contorta. Thomas Thomson (1773-1852), espone per la prima volta al grande pubblico chimico le congetture atomiche di Dalton - di cui era grande amico - nella terza edizione del suo trattato, pubblicata nel 1807. La traduzione francese di questo testo, edita nel 1809, ebbe l'onore di una introduzione (avversa alla teoria Daltoniana) da parte di Berthollet, ed essa fu il tramite con cui molti chimici dell'area francofona, fra cui Avogadro, presero contatto con il nuovo indirizzo di pensiero. Ma fra le due date dell'edizione inglese e di quella francese se ne inserisce un'altra, cruciale nella nostra storia, e cioè la scoperta nel 1808 da parte di Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) della legge che regola la reattività dei gas.

In un ampio articolo pubblicato nel 1809, ancora prima di enunciare la nuova legge Gay-Lussac prende le distanze dalla neonata teoria atomica. Rinvia, in nota, all'opera di Dalton

e afferma: "le sue ricerche non hanno alcun rapporto con le mie". Enuncia quindi la legge che porterà il suo nome: "tutti i gas agendo gli uni sugli altri, si combinano sempre nei rapporti più semplici", e subito dopo sottolinea la superiorità conoscitiva della sua scoperta, una superiorità che basa sul fatto che i rapporti in peso fra gli 'elementi' in un composto non sono per nulla semplici, mentre "i gas [...] danno sempre luogo a dei composti i cui elementi in volume, sono dei multipli gli uni degli altri". Per quanto riguarda la nostra comprensione del discorso di Gay-Lussac, non dobbiamo farci trarre in inganno dalla parola elementi (*éléments*); il senso con cui lo scienziato francese usava questo termine ci diventa chiaro scorrendone le occorrenze nel riassunto della stessa comunicazione apparso già nel 1808. Vi leggiamo, ad esempio, che decomponendo l' "acido solforico" [SO₃] si ottengono "due parti in volume di acido solforoso ed una di gas ossigeno, i quali [gas] rappresentano gli elementi (*éléments*) dell'acido solforico". Anche per Gay-Lussac l'acido solforoso non era un corpo semplice, quindi i suoi *éléments* non devono essere confusi con i nostri elementi.

Può apparire non poco singolare che il nostro scienziato non 'vedesse', anzi proprio non volesse vedere una connessione fra la sua legge e la teoria atomica di Dalton. D'altra parte non si trattava solo di un ossequio alle idee di Berthollet, suo maestro e mentore, ma anche di un ulteriore ostacolo, quella 'contrazione' dei volumi che sembrava costituire l'unica 'difficoltà' nella nuova fenomenologia della reattività. Nella sintesi dell'acqua da tre volumi complessivi di idrogeno e ossigeno se ne ottengono 'solo' due di composto; Gay-Lussac non sa darne una spiegazione precisa: "Mi sembra che la difficoltà provenga dal supporre che il ravvicinamento delle molecole elementari (*molécules élémentaires*) è rappresentato nei gas dalla diminuzione di volume che subiscono combinandosi". Sappiamo che Avogadro saprà risolvere molto elegantemente la difficoltà di Gay-Lussac, ma prima di lasciare i testi del chimico francese notiamo che per il Gay-Lussac della legge dei volumi *éléments* e *molécules élémentaires* indicano quegli oggetti fisici che unendosi vanno a costituire il prodotto di una reazione, indipendentemente dall'appartenere a

⁸ Si veda il capitolo XIV, "Foundation of stoichiometry".[8]

⁹ Contesto e dettagli di queste ricerche sono trattati nella monografia di L. Cerruti, *La mole. Uno studio sulla epistemologia regionale dei chimici*, monografia n. 17, Torino: Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti", 1984, 79 pp. La monografia è ora in rete all'indirizzo <http://www.minerva.unito.it/>; nella terza parte della monografia si trovano tutte le indicazioni bibliografiche dei testi originali, qui omesse per semplicità.

corpi semplici o composti.

L'*Essai* pubblicato da Amedeo Avogadro (1776-1856) è uno degli articoli più famosi della storia della scienza, anche se molti lo citano senza averlo mai letto e quindi ignorano che buona parte del saggio è dedicata all'applicazione allo stato solido della congettura appena enunciata e argomentata in riferimento all'eguale costituzione molecolare dei gas.

Le prime parole dello scritto richiamano i risultati di Gay-Lussac, ma subito Avogadro ricorda il comportamento uniforme dei gas rispetto ai cambiamenti di temperatura e di pressione, e invita il suo lettore ad imboccare una precisa direzione: "E' quindi necessario ammettere che vi sono anche dei rapporti molto semplici fra i volumi delle sostanze gassose e il numero delle molecole semplici o composte che le formano". Immediatamente dopo ecco il celebre enunciato: "L'ipotesi che si presenta per prima a questo riguardo, e che parrebbe anche la sola ammissibile, è di supporre che il numero delle molecole integranti in un qualunque gas è sempre lo stesso a volumi eguali, ovvero è sempre proporzionale ai volumi". Avogadro avanza poi nell'argomentazione: "Partendo da questa ipotesi si vede che si ha il mezzo per determinare assai facilmente le masse relative delle molecole dei corpi che si possono avere allo stato gassoso, e il numero relativo di queste molecole nelle combinazioni; poiché i rapporti delle masse delle molecole sono allora eguali a quelli delle densità dei diversi gas, a pressione e temperatura eguali, e il numero relativo delle molecole in una combinazione è dato dai rapporti dei volumi dei gas che la formano". Con la stessa chiarezza Avogadro deduce la composizione dell'acqua, dell'ammoniaca e di tre ossidi d'azoto.

A questo punto, nella seconda parte tutta dedicata al problema della contrazione di volume che si realizza in molte reazioni allo stato gassoso, Avogadro affronta l'ostacolo che aveva tormentato Gay-Lussac. È qui che Avogadro avanza la sua seconda, fondamentale, ipotesi della suddivisione delle molecole durante le reazioni, ma purtroppo lo stile perde di nitore, e il linguaggio si appesantisce di molte aggettivazioni 'molecolari' (*integrante, costituente, élémentaire*). Il fuoco del ragionamento è questo: "le molecole costituenti di un gas semplice qualunque [...] non sono formate da

una sola molecola elementare, ma risultano da un certo numero di queste molecole riunite in una sola per attrazione, e [...] quando le molecole di un'altra sostanza si devono congiungere ad esse per formare delle molecole composte, la molecola integrante che ne deve risultare si divide (*partage*) in due o più parti". L'aspetto epistemologico essenziale della posizione di Avogadro è l'ipotesi che anche le molecole dei corpi semplici possano essere complesse e che quindi siano in grado di suddividersi, 'distribuendosi' dopo la reazione in più di una particella. Va anche chiarito che le parole [*integrante*], [*costituante*], [*élémentaire*] indicano tre livelli distinti di complessità *molecolare*, in altri termini le *molécules élémentaires* di Avogadro non sono affatto 'atomi', né nel nostro senso né in quello di Dalton, in quanto anche in riferimento ad esse il nostro grande scienziato ipotizza un *nouveau partage* ogni qual volta sia necessario alla sua argomentazione.

Avogadro era e rimase fuori dei circuiti della grande chimica del suo tempo. La sua indaffarata provincialità subalpina, così ben documentata dal suo miglior storico italiano, lo tenne in un sostanziale isolamento. Ogni tanto riprendeva nei suoi scritti la propria ipotesi, ma da quanto risulta dall'analisi dell'epistolario di Berzelius, che pure diede una versione *ad hoc* dell'ipotesi, non vi fu mai uno scambio di lettere fra i due. In un certo modo non aver avuto rapporti con il grande Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) nei primi decenni dell'ottocento significa non aver avuto rapporti con la chimica.

Vediamo quale significato abbiano i contributi di Dalton, Gay-Lussac e Avogadro, quando li consideriamo nella prospettiva della nostra ricerca sulla quantità di sostanza. Il dato stechiometrico della composizione degli ossidi di azoto e il fascino antico dell'atomismo sono inscindibilmente all'origine della teoria atomica di Dalton; qui alla quantità di sostanza si arriva attraverso la reattività (la composizione ...) ed essa si consolida in un elenco di costanti fondamentali per i chimici, i pesi atomici. Nel lavoro di Gay-Lussac la reattività è addirittura la protagonista epistemologica del dramma conoscitivo, che rimane per il chimico francese oscuro nel fatto della contrazione dei volumi. La quantità di sostanza interveniva direttamen-

te nella legge di Gay-Lussac attraverso i volumi stessi che esprimevano la legge, e Avogadro ne trasse la conclusione cruciale che ad ogni volume/quantità di sostanza corrispondeva lo stesso numero di particelle. Dalla stechiometria di Dalton si arriva alla legge di Avogadro, guidati dalla reattività delle sostanze.

3.2 La svolta di Petit e Dulong

Se la reattività delle sostanze, interpretata a livello stechiometrico, portò Dalton, Gay-Lussac e Avogadro ai loro grandi risultati, la scoperta nel 1819 dell'importante legge dei calori specifici dei solidi ha origine da una diversa svolta conoscitiva e cioè proprio dal passaggio da una grandezza fondamentale della fisica, la massa, alla grandezza fondamentale della chimica, la quantità di sostanza. Le prime riflessioni di Joseph Black (1728-1799) sui calori specifici risalgono al 1760, ma il medico e chimico scozzese non pubblicò mai nulla direttamente, lasciando ai suoi allievi il compito di dare alle stampe appunti



Fig. 4 Uno dei calorimetri progettati da Pierre-Louis Dulong

anonimi delle sue lezioni nel 1770, data questa in cui il mondo scientifico ne venne a conoscenza. Un aspetto rilevante della nuova proprietà fisica era che "le quantità di calore che differenti specie di materia devono ricevere per aumentare la loro temperatura di un egual numero di gradi, non solo non sono in proporzione della quantità di materia (*quantity of matter*) di ciascuna, ma in proporzioni grandemente diverse da questo".¹⁰

¹⁰ Il testo citato compare in un volume edito ancora da allievi di Black nel 1803. [9]

La *quantity of matter* di Black non era altro che la massa, e anche le ricerche successive non riuscirono a trovare nessuna correlazione fra i

Dulong affermano di aver introdotto “nello studio delle proprietà che sembrano più intimamente connesse con l'azione individuale delle molecole

Tab.2

	Calori specifici	Pesi relativi degli atomi	Prodotti del peso di ciascun atomo per la corrispondente capacità
Bismuto	0,0288	13,30	0,3830
Piombo	0,0293	12,95	0,3794
Oro	0,0298	12,43	0,3704
Platino	0,0314	11,16	0,3740
Stagno	0,0514	7,35	0,3779
Argento	0,0557	6,75	0,3759
Zinco	0,0927	4,03	0,3736
Tellurio	0,0912	4,03	0,3675
Rame	0,0949	3,957	0,3755
Nichel	0,1035	3,69	0,3819
Ferro	0,1100	3,392	0,3731
Cobalto	0,1498	2,46	0,3685
Zolfo	0,1880	2,011	0,3780

calori specifici di elementi e composti e la loro densità. Mezzo secolo dopo la scoperta di Black furono il fisico Alexis-Thérèse Petit (1791-1820) e il chimico Pierre-Louis Dulong (1785-1838) a trovare la chiave del problema. Il tempo trascorso aveva enormemente arricchito le conoscenze del mondo microscopico, comprese quelle di carattere quantitativo, in particolare con la pubblicazione in varie occasioni di testi di stechiometria e di raccolte di pesi atomici da parte di Berzelius,[10] così Petit e Dulong si trovavano in una situazione consoci-

materiali” ciò che essi definiscono “i risultati più certi della teoria atomica”.[12] La definizione era alquanto retorica e decisamente ottimistica, dato che per far ‘quadrare’ i conti essi cambiarono quattro dei 13 pesi atomici di Berzelius chiamati in causa nella loro (poi) celebre tabella, ripresa integralmente in Tab. 2. Come stiamo facendo noi ora, i due Autori francesi prima introdussero la tabella, e poi la commentarono.

I due scienziati ricordano, “come è noto”, che i pesi relativi degli atomi sono dedotti dai rapporti osservati fra

Tab.3

	A: Calori specifici (J g ⁻¹ °C ⁻¹)	B: Densità (g cm ⁻³)	A · B
piombo	0,128	11,35	1,4528
rame	0,387	8,96	3,4675
ferro	0,450	7,86	3,5370
zolfo	0,732	2,06	1,5079

tiva completamente diversa da quella di Black. Per di più Dulong aveva collaborato con Berzelius in ricerche condotte a Parigi nel 1816 sulla composizione dell'acqua e la densità dei gas,[11] e quindi il ‘contatto’ con la teoria atomica era avvenuto anche attraverso un rapporto diretto con il suo massimo esponente. Non va infine dimenticato che le stesse misure sui calori specifici avevano fatto notevoli progressi, in particolare con la messa a punto di buoni calorimetri (fig. 4).

Nell'esordio del loro articolo Petit e

i pesi delle sostanze elementari quando si uniscono fra di loro. I dati sperimentali presentano solo poche incertezze, ma “poiché nessun metodo preciso esiste per scoprire il numero reale di atomi di ciascuna specie che entrano in una combinazione, è ovvio che vi deve essere sempre qualcosa di arbitrario nella scelta del peso specifico delle molecole elementari”, ossia nella scelta dei pesi atomici. Petit e Dulong sottolineano che la scelta è limitata a semplici multipli o sottomultipli.¹¹ L'enunciato della leg-

ge è molto semplice: “Gli atomi di tutti i corpi semplici hanno esattamente la stessa capacità per il calore”, e i due scienziati affermano che, se la relazione sarà ancor meglio confermata, la loro legge offrirà “il vantaggio di fissare in un modo certo e uniforme il peso specifico degli atomi di tutti i corpi semplici che possono essere sottoposti ad osservazione diretta”. Sarà proprio questo ciò che farà il nostro Cannizzaro, ma intanto saranno passati quasi quaranta anni, anni di un lungo dominio quasi incontrastato degli equivalenti.

La quarta colonna della Tab. 2 ha il significato cognitivo di ‘mettere ordine’ dove prima vi erano solo dei ‘dati’ dispersi, o – se si preferisce – dei ‘semplici fatti’. Possiamo riportarci alla situazione precedente al lavoro di Petit e Dulong utilizzando ancora i calori specifici, ma associandoli con la densità, una grandezza fisica totalmente indipendente dalla quantità di sostanza. In Tab. 3 abbiamo usato i nostri dati, non molto diversi da quelli noti allora, espressi però con le nostre unità di misura. Diventa così ‘visibile’ il ‘fatto’ che il prodotto dei calori specifici degli elementi solidi con la loro densità non porta a nessun nuovo ‘ordine’. Fino al contributo di Petit e Dulong i calori specifici avevano un significato puramente tecnologico nel caso dei metalli di uso industriale o strumentale, ma dal punto di vista scientifico rimanevano dati a sé, senza nessuna relazione con le altre proprietà degli elementi. Solo “i risultati più certi della teoria atomica”, e cioè le quantità di sostanza corrispondenti ai pesi atomici poterono stabilire una nuova, importante legge, che per la prima volta legava una grandezza macroscopica, misurabile con strumentazione fisica, con una grandezza microscopica relativa, determinabile attraverso procedure chimiche.

3.3 Il regno degli equivalenti. Il caso di Gerhardt

La storia della chimica nella prima metà dell'Ottocento è stata oggetto di intensa ricerca storiografica perché la comunità internazionale dei chimici produsse una quantità impressionante di ricerche inedite, di nuove teorie (talvolta effimere) e di liti furibonde fra i maggiori esponenti della comunità. Fra il 1830 e il 1860 si può dire che qualsiasi chimico di un certo rilievo si sentiva autorizzato ad usare

¹¹ È chiaro che le analisi ci danno soltanto i rapporti fra gli equivalenti.

i pesi atomici e le formule che più gli convenivano, con il solo limite della coerenza interna. Si può anche dire che gran parte dei chimici, in particolare in Francia e in Inghilterra, si abituò ad usare un certo insieme di equivalenti, ad esempio $H = 1$, $C = 6$, $O = 8$, $S = 16$, etc., così che l'acqua era rappresentata con il simbolo OH , che rispettava la composizione della sostanza e che pareva allora più scevra di peso teorico.

Nel 1842 il chimico alsaziano Charles Gerhardt (1816-1856) attaccò uno dei cardini delle consuetudini chimiche di allora con tutta quella virulenza polemica che tanto lo rese insopportabile ai contemporanei. Un lungo saggio fu scritto per la *Revue Scientifique et Industrielle*, un giornale concorrente dei prestigiosi *Annales de Chimie*, inviato (tradotto) al *Journal für Praktische Chemie*, riscritto infine in forma 'attenuata' per gli stessi *Annales*, dopo che le conclusioni erano già state presentate all'Accademia di Parigi. Non si può certo dire che il ventiseienne Gerhardt tenesse per sé le proprie opinioni. L'articolo originale ha un attacco in grande stile, tutto riferito alla forza vitale che agisce negli esseri viventi, portando a quella complessità molecolare che la chimica organica stava cominciando a intravedere. Dopo qualche pagina l'Autore evoca l'immagine grandiosa di una immensa scala delle combustioni, i cui infiniti scalini sono separati fra di loro dagli elementi dell'acido carbonico, dell'acqua, dell'ammoniaca: "il chimico [...] *discende la scala* semplificando poco a poco le sostanze [...] la forza vitale al contrario *rimonta la scala* e, con i prodotti morti, con i prodotti della combustione del chimico, ricostruisce degli esseri organizzati".[13] Con lo sfoggio di una estesa conoscenza di decine e decine di reazioni, Gerhardt argomenta che i gradini della scala sono sempre separati da almeno due molecole di acqua o di acido carbonico [CO_2]. La mole di conoscenze sperimentali messe in gioco è impressionante, e ne riportiamo un frammento per apprezzarne la struttura: "L'acido citrico si trasforma in acido acotnico eliminando acqua: $C^{24}H^{16}O^{14} = C^{24}H^{12}O^{12} + H^4O^2$ ".[14] Una miriade di reazioni come questa lo porta a proclamare la

necessità di raddoppiare gli equivalenti ammessi per molte sostanze: "l'equivalente del carbonio è falso [...] l'equivalente dell'ossigeno è falso".[15]

Seguirono anni di polemiche durissime in cui Gerhardt e l'amico Laurent furono accusati da Liebig di essere dei "banditi da strada" (Gerhardt in particolare era definito "mentitore" e "mezzo sangue"), e di lavoro altrettanto duro. Il risultato testamentario di tutto questo veniva consegnato pochi mesi prima della morte del chimico alsaziano nel quarto volume del suo *Traité*. L'attenzione di Gerhardt si spostava dalla *composizione*, privilegiata da Berzelius, alla *reazione* per cui le formule su cui tanto si batteggiava non erano altro che "equazioni contratte". Tutto era teso ad uno sforzo unitario di sintesi conoscitiva: "è necessario fare la scelta di una *unità di molecola*, [...] e derivare da questa unità le formule di tutti gli altri corpi". La scelta non poteva non cadere sull'acqua, la cui formula era OH^2 ($H = 1$, $O = 16$) mentre "la maggior parte dei chimici scrivono OH , e altri annotano O^2H^2 (valore di $H = 1$, di $O = 8$)".[16]

La definizione di [formula] come [equazione contratta] è veramente profonda, e coglie in pieno molti aspetti delle procedure conoscitive dei chimici, compresa la creatività del nostro modo di (de)scrivere il mondo delle sostanze. In modo più specifico, la definizione nasce proprio dalla ricerca del 1842, quando il nostro Autore aveva dedotto che *se* compare sempre la formula doppia H^4O^2 allora quella giusta è H^2O .

Con il caso di Gerhardt concludiamo quel tanto di archeologia culturale utile per comprendere che l'identificazione della quantità di sostanza come grandezza fisica fondamentale è stato il risultato di un processo di costruzione sociale, processo che ebbe inizio nelle vicende correnti della società, i valori venali e i piaceri, e approdò nelle ricerche ostinate e creative degli scienziati.

4. Impegno ontologico e metrologia

4.1 Il contributo determinante di Cannizzaro

La situazione che nell'estate del 1857

indusse Cannizzaro a lunghe meditazioni teoriche era caratterizzata dall'ostilità al suo insegnamento da parte dell'ambiente clericale, dall'isolamento scientifico e personale, dalla forzata inattività sperimentale.¹² La prosa secca, un po' ruvida, del *Sunto* del suo corso di filosofia chimica è il risultato, in alcuni passi densissimo, di questa sua attiva solitudine. In quello stesso anno 1857 ad aiutarlo nella fatica intellettuale erano giunti, con la puntualità delle costellazioni storiche, il lavoro di Sainte-Claire Deville sulla dissociazione dei gas e quello di Clausius sulla teoria cinetica dei gas. In una 'lezione' pubblicata nel 1858 su una rivista locale ligure Cannizzaro mette in evidenza il carattere complementare delle nuove corroborazioni: "Insieme ai risultamenti della chimica concorrono a tornare in onore la teoria di Avogadro e di Ampère gli studi dei fisici intorno alle proprietà dei fluidi elastici e ai calorici specifici si dei corpi semplici che dei composti". Troviamo qui condensati gli 'arnesi' dello strumentario epistemologico utilizzato da Cannizzaro nel *Sunto*: in primo luogo i "risultamenti della chimica", compresi i precoci elementi della nascente teoria della valenza, ed in secondo luogo i 'concorsi' delle misure fisiche - densità dei gas e calori specifici - interpretati significativamente per gli elementi *e* i composti.

A livello semantico e retorico il *Sunto* è un vero capolavoro. Per i nostri scopi è sufficiente considerare certe occorrenze dei termini chiave [molecola] e [atomo], delle loro forme al plurale, e dell'espressione [mezza molecola]. Il *Sunto* riguarda otto lezioni teoriche del nostro chimico; le prime quattro lezioni sono effettivamente riassunte e occupano complessivamente 105 righe del testo originale, mentre la quinta, che propone la famosa 'legge degli atomi', si sviluppa su 160 righe.¹³ Nelle prime 105 righe del *Sunto* la principale opposizione semantica è [molecole] vs. [atomi], e lo scopo dichiarato di questa costante opposizione è di far entrare nella testa degli studenti (e dei lettori) il fatto che i due concetti vanno assolutamente distinti. Nelle successive 160 righe della quinta lezione la parola [atomi] scompare del tutto, e così pure la parola [atomo], con l'eccezione dell'enunciato della legge degli atomi. Il motivo di questa 'astinenza' è che Cannizzaro intende proprio dare una

¹² A proposito di Cannizzaro di può fare riferimento ai quattro articoli che uno di noi pubblicò fra il 1982 e il 1983 su *La Chimica e l'Industria*. Gli articoli sono ora disponibili all'indirizzo <http://www.minerva.unito.it>.

¹³ Un'analisi dettagliata del testo di Cannizzaro, e del suo contesto, si trova in [17]

definizione di atomo, e quindi evita il termine che intende definire, così l'opposizione |molecole| vs. |atomi| è abbandonata, ed è sostituita dalla opposizione |molecola| vs. |mezza molecola|. Il riferimento è alla molecola biatomica di idrogeno, e alla sua 'mezza molecola', cioè all'atomo di idrogeno. Qui risulta nettissimo il nesso tra impegno ontologico (esistono certi oggetti microscopici ...) e la quantità di sostanza: una certa quantità corrisponde alla molecola, una quantità dimezzata può essere fatta opportunamente corrispondere all'atomo. Ed ecco l'enunciato della *legge degli atomi*, così chiamata dallo stesso Cannizzaro: "le varie quantità dello stesso elemento contenute in diverse molecole son tutte multiple intere di una medesima quantità, la quale, entrando sempre intera, deve a ragione chiamarsi atomo".[18] È evidente che nella epistemologia di Cannizzaro la molecola 'viene prima' dell'atomo, un fatto stupefacente se si pensa che nel 1858 non esisteva un solo metodo fisico per la determinazione dell'entità molecolare che non fosse controverso. In effetti la 'definizione' di molecola data da Cannizzaro è operativa, ad essa concorrono, volta a volta, tutte le conoscenze che la chimica e la fisica possono mettere a disposizione dello studioso. Le due epistemologie si intrecciano intimamente e distintamente. Così nella lunga discussione dello *status* molecolare-atomico del mercurio troviamo la densità del vapore dell'elemento accanto a quelle dei suoi composti, il calore specifico del metallo e quello dei suoi composti, il tutto completato dall'applicazione della legge degli atomi. Il chimico si è finalmente reso padrone degli strumenti messi a punto dai fisici, ed essi nelle sue mani perdono ogni rigidità per adattarsi ad ogni (imprevedibile) esigenza di quella reattività che, *in fondo*, costituisce la ragione d'essere della chimica.

Nel *Sunto* Cannizzaro stabilì definitivamente la supremazia *concettuale e ontologica* dell'atomo sull'equivalente. *In itinere* modificò i valori assegnati come equivalenti per circa un terzo degli elementi conosciuti, fra cui quasi tutti i più rilevanti dal punto di vista chimico: l'ossigeno, il carbonio, lo zolfo, il silicio, il ferro ... È noto che questo riassetto radicale delle grandezze fondamentali della chimica aprì la strada ai due

scopritori del sistema periodico, il russo Mendeleev e il tedesco Meyer. Riconoscenti, entrambi questi scienziati testimoniarono il loro debito scientifico nei confronti del grande chimico italiano.

4.2 Da van't Hoff e Nernst ai giorni nostri

Con disappunto degli storici professionisti le conoscenze storiche degli scienziati si basano più sulla 'tradizione dei manuali', e cioè su ciò che viene tramandato il linea diretta all'interno della disciplina, piuttosto che su ricerche specifiche – compito questo dei professionisti citati. Così il metrologo tedesco Drath assegna ad Wilhelm Ostwald la prima proposta del nome [Mol], apparsa nei *Prinzipien der Chemie* del 1907.[19] Una ventina di anni dopo il metrologo inglese McGlashan si riferisce ancora ad un'opera di Ostwald, le *Grundlinien der anorganische Chemie*, ma anticipa la data di esordio di [Mol] al 1900.[20] Come accade spesso quando si afferma 'il primo che ...' non solo il rischio è alto, ma non è nemmeno compensato dall'incerto merito assegnato al proponente o allo scopritore. È molto facile che nella vastissima letteratura chimica qualcosa sfugga all'attenzione anche dello storico più attento; in ogni caso vediamo che venti anni prima di Ostwald, il suo amico e collega van't Hoff legge nell'equazione dei gas $PV=RT$ la presenza delle leggi di Boyle, Gay-Lussac e Avogadro, ed adotta per la quantità di sostanza la *Kilogrammolekül*, essendo questo il valore per cui la costante R è uguale per tutti i gas.[21] In questo articolo del 1887 van't Hoff segue un suggerimento espresso da A. Horstmann, uno dei fondatori della termodinamica chimica, in un contributo fondamentale pubblicato sui *Chemische Berichte* nel 1881.[22] Un identico riferimento a Horstmann e alla sua interpretazione di $PV=RT$ si ritrova in uno dei più importanti trattati pubblicati tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, la *Theoretische Chemie* di Nernst. Anche qui la definizione di grammo-molecola viene data nel contesto delle leggi dei gas, contesto ormai diventato un *locus* classico per affrontare

l'argomento. Nella prima edizione del testo di Nernst, pubblicata nel 1893, si legge anche il *nome* da dare alla nuova unità di misura: *eine g-Molekel oder ein Mol*. [23]

Il *locus* della legge dei gas è conservato anche da Ostwald, ma non con il senso per noi familiare. Ostwald letteralmente inverte la linea di ragionamento di van't Hoff, l'equazione di stato viene scritta $PV=rT$ e descritta con queste parole: "quando due o più gas partecipano ad una reazione chimica, i corrispondenti valori- r sono o eguali o stanno in semplici rapporti razionali".[24] Qui la corrispondenza fra il numero delle particelle è tutta affidata alla reattività, là essa era invocata esplicitamente con il ricorso al principio di Avogadro. A dire il vero Ostwald fa più di un'elegante acrobazia per evitare ogni impegno ontologico nei confronti di atomi-molecole. Egli mette al culmine della sua gerarchia epistemologica una sua "legge dei pesi di combinazione",[25] che altro non è se non l'ennesima edizione di una regola per gli equivalenti, mentre il lessema |peso atomico| compare solo una volta, esorcizzato da opportune virgolette: "*Atomgewicht*".¹⁴ Ostwald ha conquistato una dubbia notorietà fra gli epistemologi per la sua tenace avversione alla teoria atomico-molecolare. A noi qui interessa il fatto che per definire la mole ricorra alla reattività, la cui fenomenologia costituisce pur sempre il cuore della chimica.

Siamo giunti ora alla parte finale – per ora – della storia della quantità di sostanza. Essa è stata riconosciuta come grandezza fisica fondamentale e introdotta come settima unità di base nel Sistema Internazionale dopo una discussione lunga e complessa, che i verbali pubblicati dal Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (C.I.P.M.) permettono solo in parte di ricostruire. Da questi verbali emergono comunque almeno due tipi di 'difficoltà'.¹⁵

In primo luogo il dibattito fu particolarmente accanito sullo *statuto metrologico della mole*. Nel 1969, nel rapporto del Comitato consultivo delle unità (C.C.U.), pur di fronte all'uso della mole fatto dai chimici almeno da un'ottantina d'anni, si arrivava a dire:

¹⁴ Il termine *Atomgewicht* si trova relegato comunque in una nota di carattere storico.[26]

¹⁵ Riprenderemo nel terzo articolo di questa serie le difficoltà rispetto al 'segno linguistico' con cui indicare la grandezza fisica in questione.

“E’ certo che si deve riconoscere che la mole esiste”, ma di qui non derivava la necessità di considerarla come un’unità di base.[27] Per altro già nel 1967 il C.C.U. nella sua prima sessione aveva proposto al C.I.P.M. una raccomandazione per l’adozione della mole come unità di base del SI, ma ora la discussione riprende da capo, con l’accento posto su “un gran numero di idee false sul concetto di ‘quantità di materia’ “¹⁶, idee false che per maggior sicurezza rispetto alla loro impropria diffusione non sono riportate né nel verbale né in appendice, come viene invece fatto a proposito della scelta della mole invece della Kilomole. Su una cosa il C.C.U. vuole essere chiaro, anche per guadagnarsi il consenso del rappresentante tedesco: se la mole è presa come unità di base, questo implica che la “grandezza corrispondente deve essere considerata come una grandezza di base”, e (attenzione!) “Questo resta vero, che questa grandezza sia importante o no”.¹⁷

Quale sia stata l’opinione del vertice internazionale dei metrologi è ancora più evidente nella discussione allargata al C.I.P.M., dove il rappresentante sovietico “non vede le ragioni per le quali la mole debba essere introdotta nelle unità di base”, aggiungendo: “E anche ci si può chiedere se questa unità possa essere materializzata”. Il rappresentante americano è più pragmatico: “le unità di base non necessariamente (*forcément*) sono delle unità fondamentali [...] non è una questione ‘filosofica’ [...] è una questione d’utilità pratica”. Uno scienziato porta la sua personale testimonianza, che “ha potuto constatare che i chimici annettono grande importanza al fatto che la mole sia classificata fra le unità di base”, un altro ricercatore ancora si scarica di ogni responsabilità: “egli non si oppone all’introduzione della mole fra le unità di base, *se i chimici ne vedono la necessità*”.¹⁸ Va detto che questo atteggiamento riduttivo nei confronti della quantità di sostanza, quasi fosse una questione di famiglia dei chimici, non era del tutto infondato se nel 1968 all’interno della Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata (IUPAC), nella risoluzione ufficiale che propo-

neva la definizione di quantità di sostanza e di mole ci si riferiva all’impossibilità di adottare il Sistema Internazionale di unità di misura anche da parte di coloro che erano desiderosi di farlo. I termini usati sono *désireux de faire*, quasi che il problema fosse sentito solo da un pugno di *volenterosi*.^[30]

Il secondo punto al centro del dibattito dei metrologi fu una duplice, necessaria negazione: *né massa né numero*. E’ interessante notare che qui, a proposito dell’interpretazione conoscitiva della mole e del suo rapporto con il numero di entità in essa contenute, i sostenitori della mole sono decisamente sulla difensiva. In quegli anni presiedeva il C.C.U. il chimico-fisico de Boer, senza la cui autorità forse la mole sarebbe stata ancora mantenuta in lista d’attesa. De Boer introducendo la discussione nel 1969 riconobbe che: “la maggior parte dei fisici forse non si rendono conto con sufficiente esattezza del significato fisico della mole”, e aggiungeva che non “si può pensare che la quantità di sostanza possa misurarsi in unità di massa”.^[31] Decisamente più appassionato era stato l’intervento di un altro chimico-fisico, l’inglese Mc Glashan: “la mole, che trae la sua origine dal vecchio concetto degli equivalenti chimici [...] non può essere rimpiazzata né da un numero, né da una massa [...]. Sarebbe particolarmente nefasto ricondurre ad un numero puro la grandezza alla quale corrisponde la mole. Infatti da più di un secolo i chimici hanno trattato la mole come un’unità indipendente”.^[32] Certamente non si può dire che la quantità di sostanza e la mole abbiano fatto un ingresso trionfale nella cittadella metrologica, tuttavia esse sono ormai da più di tre decenni al vertice del Sistema Internazionale di unità di misura, una posizione di eminenza che dovrebbe riportare i chimici alle loro responsabilità culturali, compresa la ‘questione filosofica’ evocata in sede di Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure.

5. Riepilogo e analisi

In questo lavoro abbiamo delineato la traccia di una storia di lunga durata, che – scegliendo riferimenti

normativi – potrebbe andare dai regolamenti doganali inglesi del Seicento alle risoluzioni dei metrologi del Novecento. Si tratta di non meno di tre secoli, esattamente quelli che hanno visto la crescita ininterrotta delle scienze sperimentali, e l’affermarsi stesso della chimica come disciplina autonoma dalla fisica e della medicina. Dato che temi della nostra ricerca sono il concetto (e l’uso) della quantità di sostanza, e cioè della grandezza fisica fondamentale della chimica, non c’è da stupirsi se la progressiva messa a fuoco dei problemi ad essa connessi abbia seguito da vicino lo sviluppo del nucleo teorico fondamentale della nostra scienza.

Come abbiamo sottolineato all’inizio dell’articolo la domanda primitiva a cui a livello analitico si è cercato (nei secoli!) di rispondere è stata: *quanta* sostanza attiva, o utile, o preziosa è contenuta nel campione in esame? Le risposte sono state a lungo concettualmente e operativamente molto diverse a seconda che si trattasse, ad esempio, di un distillato alcolico, di nitrato di potassio greggio o di una lega. Da questo punto di vista esemplari sono state le ricerche e le proposte di Baumé: qui abbiamo avuto, e abbiamo ancora, tante ‘scale’ diverse quante sono le sostanze in soluzione prese in considerazione. È interessante osservare che l’opera di Baumé si colloca sulla soglia di un nuovo modo di considerare le sostanze chimiche, non più isolatamente, una per una, ma attraverso una classificazione sempre più accurata: sali, acidi, basi ... Sono stati acidi e basi a costituire la prima rete di *equivalenti*, e qui va notato che l’assenza di qualsiasi opzione ontologica sulla natura microscopica delle sostanze chimiche accomunava scienziati dalle posizioni teoriche molto diverse come il riformatore Lavoisier e i flogisticanti come Cavendish e Priestley. Questa ‘neutralità’ ontologica fu violata clamorosamente da Dalton all’inizio dell’Ottocento con la sua proposta del concetto di *massa atomica relativa*, i cui referenti erano esplicitamente entità microscopiche di cui non era nota nessuna (altra) proprietà. Non si poteva dire: “l’atomo di carbonio è ...”, oppure “l’atomo di carbonio ha ...”, sostituendo ai puntini di sospensione qualcosa di sensato. Il coraggio conoscitivo di Dalton è indubbio. Il processo di affermazione ontologica de-

¹⁶ Stiamo leggendo il testo francese, dove di parla di *quantité de matière*.

¹⁷ In questo dubbio insistito affiora un certo qual imbarazzo, o forse addirittura disprezzo, per qualunque concetto che non sia strettamente fisico.^[28]

¹⁸ Corsivo aggiunto.^[29]

gli atomi all'interno della comunità dei chimici fu lento, malgrado successi notevoli come la legge di Dulong e Petit che si basa interamente sulle masse atomiche relative proposte da Dalton e diligentemente corrette e compilate da Berzelius. L'alternativa *equivalenti* vs. *atomi* fu superata solo con la riforma Cannizzariana, mezzo secolo esatto dopo la pubblicazione del primo volume del *New System of Chemistry* di Dalton.

La Convenzione del Metro fu messa a punto da una Commissione internazionale convocata nel 1870, e fu firmata a Parigi il 20 maggio 1875 dai plenipotenziari di 17 stati, fra cui l'Italia. Nel settembre 1889 la prima Conferenza Internazionale dei Pesi e delle Misure sanzionava l'adozione dei prototipi internazionali in platino iridio come campioni del metro e del kilogrammo. Queste date stabiliscono l'affermarsi a livello internazionale della metrologia, in particolare con la fondazione del Bureau International des Poids et Mesures voluto dalla Convenzione del Metro. Nel 1889, nella prima Conferenza vennero date le definizioni ufficiali di metro e di kilogrammo; la definizione ufficiale di mole venne data nel quattordicesimo Conferenza Internazionale nel 1971. Più di otto decenni separano le due date, e a nostro parere questo lunghissimo intervallo di tempo è un indice incontrovertibile dell'inerzia filosofica ed epistemologica della comunità internazionale dei chimici. In questo caso non è possibile invocare a scusante l'esistenza di gerarchie accademiche sfavorevoli o di un clima culturale avverso, perché proprio al momento della prima Conferenza e nei decenni successivi la chimica era ai vertici del successo scientifico e delle relative gerarchie accademiche, ed era considerata dall'opinione pubblica la fonte fondamentale del benessere economico, della sicurezza nazionale e della salute personale. Che piaccia o meno ai chimici, a partire da Galileo i fisici si sono sempre considerati gli eredi di Platone e della scienza greca, requisendo nel nome stesso della loro disciplina la *ὑπόθεσις* dei greci, un termine che possiamo far corrispondere abbastanza bene alla nostra *natura*. [33] Testi importanti come quello di Villani indicano un per-

corso conoscitivo essenziale per comprendere diversi aspetti filosofici essenziali della chimica, fra i quali è cruciale la sua *autonomia* dalla fisica. Comunque sia, gli ottanta anni di ritardo rimangono, e se l'abulia filosofica ed epistemologica dei chimici può 'spiegarli', allora è questa abulia che va compresa e i chimici vanno curati.¹⁹

Infine, tornando alla vicenda storica e pur tenendo conto dell'esilità del materiale documentario che abbiamo richiamato, possiamo suddividere la storia della quantità di sostanza in tre fasi. La prima, precedente alla riforma di Lavoisier e alla teoria atomica di Dalton è di pura e semplice *frammentazione metodologica*. Una svolta irreversibile, e l'inaugurazione di una nuova fase, si ha appunto con il contributo di Dalton, che fonda la duplicità referenziale del linguaggio chimico moderno, permanentemente oscillante fra macroscopico e microscopico. Durata circa un secolo, è questa la fase dell'*unificazione conoscitiva*, che vede affermarsi un impegno ontologico sempre più spregiudicato.²⁰ È a conclusione di questa unificazione che viene proposta la mole, ma – attenzione! – senza nessun approfondimento della grandezza fisica che la mole misura. Tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento la mole viene sempre più utilizzata esplicitamente, e inizia così una terza fase di *pratica metrologica*, culminata con la sanzione ufficiale del 1971. Questa fase è tuttora in corso, e dovrebbe essere rinvigorita da una buona, auspicabile dose di *riflessione epistemologica*.

Bibliografia

- [1] Notizie e figura sono tratti da: F. Sherwood Taylor, *A History of Industrial Chemistry*, London: Heinemann, 1957, pp. 29-32.
 [2] *Ib.*, p. 156.
 [3] J.R. Partington, *A History of Chemistry*, vol. III, London: MacMillan, 1962, p. 91.
 [4] L. Cerruti, "Chemicals as Instruments. A Language Game", *Hyle*, 1998, **4**, 39-61, alla p. 50.
 [5] J.R. Partington, *A History of Chemistry*, vol. III, London: MacMillan, 1962, pp. 44-46.
 [6] *Ib.*, pp. 319-321.
 [7] *ib.* p. 305.
 [8] J.R. Partington, *A History of Chemistry*, vol. III, London: MacMillan, 1962, pp.

640-688.

- [9] J.R. Partington, *A History of Chemistry*, vol. III, London: MacMillan, 1962, pp. 132 e 155.
 [10] J.R. Partington, *A History of Chemistry*, vol. IV, London: MacMillan, 1962, pp. 153-166.
 [11] *Ib.*, p. 199.
 [12] A.-T. Petit, P.-L. Dulong, "Recherches sur quelques points importants de la Théorie de la Chaleur", *Annales de Chimie et de Physique*, **10**, pp. 395-413 (1819); il testo di una traduzione contemporanea, tratta da *Annals of Philosophy*, **14**, pp. 189-198 (1819), si trova nel bellissimo sito curato da Carmen Giunta, all'indirizzo: <http://webserver.lemoyne.edu/faculty/giunta/petit.html>.
 [13] C. Gerhardt, "Sur la classification chimique des substances organiques", *Rev. Scient.* **10**, pp. 145-218 (1842); alla p. 149, corsivi nel testo originale.
 [14] *Ib.*, p. 157.
 [15] *Ib.*, p. 168.
 [16] C. Gerhardt, *Traité de Chimie Organique*, vol. IV, Paris: Didot, 1856, cit. alle pp. 566 e 581.
 [17] L. Cerruti, "Il luogo del *Sunto*", in: S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, ed. a cura di L. Cerruti, Palermo: Sellerio, 1991, pp. 73-282.18] S. Cannizzaro, "Sunto di un corso di Filosofia Chimica fatto nella R. Università di Genova", *Nuovo Cimento*, **7**, pp. 321-366 (1858); cit. alla p. 328, corsivo nel testo originale.
 [19] P. Drath, "Das Mol-Basiseinheit für die Grösse Stoffmenge", *PTB-Mitteilung*, **85**, pp. 44-46 (1975).
 [20] M.L. McGlashan, "Amount of Substance and the mole", *Metrologia*, **31**, pp. 447-455 (1994-95).
 [21] J.H. van't Hoff, "Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen", *Z. phys. Chem.* **1**, pp. 481-508 (1887).
 [22] A. Horstmann, "Ueber die Anwendung des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie auf chemische Erscheinungen", *Ber.*, **14**, pp. 1242-1250 (1881).
 [23] W. Nernst, *Theoretische Chemie von Standpunkte der Avogadro'schen Regel und der Thermodynamik*, Stuttgart, Enke, 1893, p. 43; sec. ed. 1898, p. 43.
 [24] W. Ostwald, *Prinzipien der Chemie*, Leipzig, Akademische V., p. 197.
 [25] *Ib.*, p. 413.
 [26] *Ib.*, p. 421.
 [27] Comité International des Poids et Mesures, "Rapport du Comité Consultatif des Unités", *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **37**, pp. 110-115 (1969).
 [28] Comité International des Poids et Mesures, "Doit-on adopter une unité SI de quantité de matière?", *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **37**, pp. 108-109 (1969).
 [29] Comité International des Poids et Mesures, "Système International d'Unités: propositions à la 14e Conférence Générale", *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **38**, pp. 20-22 (1970).
 [30] "Sur la quantité de matière en tant qu'unité de base du SI", risoluzione adottata dalla Commissione "Symboles, terminologie et Unités" della IUPAC, 19-20 dicembre 1968, cit. da: M.L. McGlashan,

¹⁹ La -2=@90K può essere intesa come *non-volontà*, e nei dizionari di medicina viene definita come "perdita o insufficienza della forza di volontà, dell'iniziativa o delle motivazioni", *Dizionario Medico Illustrato Dorland*, Milano: Stampa medica, 1985, *ad vocem*.
²⁰ Si pensi alla scandalosa 'chimica nello spazio' di vant'Hoff.

“Amount of Substance and the mole”, *Metrologia*, **31**, pp. 447-455 (1994-95), alla p 452..

[31] Comité International des Poids et Mesures, “Rapport du Comité Consultatif

des Unités”, *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **37**, pp. 110-115 (1969).

[32] Comité International des Poids et Mesures, “Doit-on adopter une unité SI de quantité de matière?”, *Procès-Verbaux*

C.I.P.M., **37**, pp 108-109 (1969).

[33] G. Villani, *La Chiave del Mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, Napoli: CUEN, 2001

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

POLIMERI CONDUTTORI

Riassunto

Lo studio dei polimeri conduttori è iniziato a partire dalla scoperta che un polimero dall'aspetto argenteo, il poliacetilene, poteva essere “drogato” esponendolo ai vapori di bromo o iodio ottenendo un aumento rilevante della conducibilità che lo faceva passare da semiconduttore a conduttore in uno stato che venne poi confermato essere di tipo metallico. Un polimero conduttore è un polimero organico che possiede proprietà elettriche, elettroniche ed ottiche mantenendo le proprietà meccaniche e la processabilità caratteristiche di un materiale polimerico convenzionale, permettendone l'impiego in varie applicazioni quali la schermatura di campi elettromagnetici, sensori, finestre intelligenti, elettrodi per batterie ricaricabili, display elettrochimici. In questo articolo vengono descritte la preparazione, la caratterizzazione e le proprietà di alcuni ICP come la polianilina ed il polipirrolo con particolare attenzione al loro meccanismo di conduzione e ad alcune interessanti applicazioni.

Abstract *The field of conducting polymers, more commonly known as a “synthetic metals”, commenced in 1977 with the discovery that films of the silvery polymer, polyacetylene, could be “doped” by treatment with gaseous bromine or iodine with a concomitant increase in conductivity passing through the semiconductor regime to what was later confirmed to be the metallic state. A conducting polymer is an organic polymer that possesses the electrical, electronic, magnetic and optical properties of a*

GIACOMO RUGGERI*

metal while retaining the mechanical properties, processability, etc., commonly associated with a conventional polymer thus allowing their use in many applications as electromagnetic shielding, sensors, smart windows, electrodes for rechargeable batteries, electrochemical displays. In this paper the preparation, characterization and properties of ICP such as polyaniline and polypyrrole are presented with particular attention to their conductivity mechanism and description of some relevant application.

Il termine polimero rappresenta un gran numero di sostanze, sia di origine sintetica che naturale. Il punto di partenza del loro impiego da parte dell'uomo si perde nella storia. Comunque, lo sviluppo sintetico risale all'inizio del XX secolo su basi principalmente empiriche. Alla vigilia della seconda guerra mondiale i polimeri iniziarono ad essere prodotti massivamente ed i principi che riguardano questa classe di materiali iniziarono ad essere studiati più approfonditamente.

L'idea di associare le proprietà elettriche dei metalli alle proprietà meccaniche dei polimeri è nata all'incirca negli anni 50, mediante l'incorporazione in essi di cariche conduttrici (nero di fumo, fibre metalliche oppure fibre di carbonio), producendo i cosiddetti polimeri estrinsecamente conduttori o ECP (estrinseci poichè la carica conduttrice viene aggiunta dall'esterno). Recentemente, una altra classe di materiali conduttori, i polimeri intrinsecamente conduttori o ICP, sono stati studiati e grazie alle loro proprietà spe-

cifiche possono essere utilizzati in diverse applicazioni. Questi polimeri conducono la corrente elettrica senza la introduzione dall'esterno di cariche conduttrici.

La scoperta della proprietà di conduzione in polimeri.

Per molto tempo, i tentativi per ottenere un polimero conduttore sono stati frustrati. Soltando all'inizio della decade dei '70, una classe di polimeri fu preparata con significativa capacità di condurre elettricità, nonostante che l'idea che solidi organici potessero presentare alta conducibilità elettrica, comparabile a quella dei metalli, fosse stata proposta da più di mezzo secolo.

La scoperta dei polimeri conduttori ha avuto inizio accidentalmente nel laboratorio di Hideki Shirakawa dell'Istituto di Tecnologia di Tokyo, nel 1976. Nel tentativo di sintetizzare il poliacetilene (una polvere nera), uno studente di Shirakawa ha prodotto un film dall'aspetto argenteo lucido, simile ad un foglio di alluminio. Verificando la procedura sperimentale lo studente ha visto che aveva utilizzato una quantità di catalizzatore mille volte maggiore di quella necessaria. Nel 1977, Shirakawa, lavorando in collaborazione con McDiarmid e Heeger nella Università della Pennsylvania, ha verificato che dopo il drogaggio del poliacetilene con iodio, il film argenteo, flessibile, è diventato un foglio metallico di colore oro, la cui conducibilità elettrica era sensibilmente aumentata.

Nella decade degli '80, i ricercatori Narmann e Theophilou della BASF AG, Ludwigshafen, Germania, sono riusciti ad incrementare ulteriormente la conducibilità del poliacetilene. Usando un nuovo catalizzatore ed orientando il film per stiro, hanno ot-

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

tenuto, dopo drogaggio, conducibilità simile a quella del rame metallico a temperatura ambiente (10^6 Siemens/cm). La scoperta del poliacetilene conduttore ha dimostrato che non c'era alcuna ragione di ritenere che i polimeri organici non potessero essere buoni conduttori. Una volta aperta la strada, altri polimeri conduttori sono stati preparati.

Struttura molecolare e proprietà di conduzione.

I polimeri conduttori sono generalmente chiamati "metalli sintetici" perchè possiedono le proprietà elettriche, magnetiche ed ottiche di metalli e di semiconduttori. Sarebbe più adeguato chiamarli "polimeri coniugati" perchè sono formati da catene contenenti doppi legami carbonio-carbonio coniugati (tabella 1). Questa coniugazione permette che sia creato un flusso di elettroni in condizioni specifiche, come verrà discusso di seguito.

Gli elettroni dei doppi legami coniugati possono essere facilmente rimossi od addizionati per formare una specie ionica polimerica. La ossidazione-riduzione della catena polimerica è effettuata dagli agenti di trasferimento di carica (accettori / donatori di carica) convertendo il polimero da isolante a conduttore o semiconduttore. Questi agenti vengono chiamati "droganti" in analogia con il drogaggio dei semiconduttori, però vengono aggiunti in quantità molto superiori, in quanto la massa del drogante può arrivare fino al 50% della massa totale del composto. Nei semiconduttori inorganici, la conducibilità si raggiunge soltanto per l'inserimento di elementi (droganti) che possono dare o ricevere elettroni con la finalità di promuovere un flusso di elettroni e così generare portatori di carica elettrica. La conducibilità elettrica dei polimeri è stata inizialmente spiegata in base al "modello a bande", simile a quello dei semiconduttori inorganici. Sia in

un cristallo, come in un polimero, l'inserimento della cella unitaria con tutti i suoi vicini, porta alla formazione di bande elettroniche. I livelli elettronici occupati di più alta energia costituiscono la banda di valenza (VB) e i livelli elettronici vuoti di più bassa energia, la banda di conduzione (CB). Questi sono separati da una fascia di energia proibita chiamata band-gap, la cui ampiezza determina le proprietà elettriche intrinseche del materiale. Nel caso del poliacetilene una ossidazione rimuove elettroni dalla sommità della banda di valenza e una riduzione aggiunge elettroni nella banda di conduzione. In questo modo si formano delle bande semioccupate, come nel caso dei metalli. Tuttavia questo modello non spiega il fatto che la conducibilità è associata a portatori di carica di spin zero e non a elettroni delocalizzati.

Nello stesso modo come in qualsiasi solido, in un polimero il processo di ionizzazione risulta dalla creazione di una lacuna nella sommità della banda di valenza. In questo caso si possono fare tre osservazioni:

1) per definizione nel processo di drogaggio nessun rilassamento geometrico (distorsione del reticolo) avviene nella catena polimerica

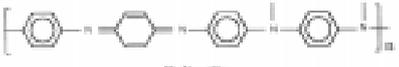
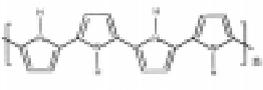
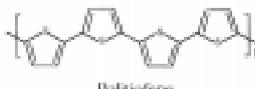
2) La carica positiva generata rimane delocalizzata sopra tutta la catena polimerica.

3) La presenza della lacuna (livello non occupato) nella sommità della banda di valenza conferisce un carattere metallico al materiale.

Ciò nonostante, in solidi unidimensionali dei quali i polimeri conduttori fanno parte, può essere energeticamente più favorevole localizzare la carica che compare sulla catena (creando un difetto) e avere intorno a questa carica una distorsione locale del reticolo (rilassamento) - teorema di Peierl. Questo processo provoca la comparsa di stati elettronici localizzati all'interno del band-gap.

Considerando il caso della ossidazione, cioè, la rimozione di un elettrone lungo la catena, si ha la formazione di un radicale catione (chiamato anche polarone in fisica dei solidi). Questa può essere interpretata come una redistribuzione di elettroni, che polarizza la catena polimerica soltanto localmente, producendo una modifica a corto raggio nella distribuzione spaziale degli atomi. In termini chimici, un polarone corrisponde ad un radicale ione con carica unitaria e spin

Tabella 1. Struttura dei principali polimeri intrinsecamente conduttori

Polimero Conduttore	Conducibilità S cm ⁻¹
 Poliacetilene	1
 Poli(anilina)	10^2 a 10^4
 Polipirrole	10 a 10^3
 Poliofene	600
 Poli(p-fenilene)	200
 Poli(p-fenilene vinilene)	500

1/2 associato una distorsione del reticolo ed in presenza di stati localizzati nel band-gap (figura 1).

Nel processo di formazione del polarone la banda di valenza rimane piena e la banda di conduzione vuota e non si ha la comparsa del carattere metallico in quanto che il livello parzialmente occupato è localizzato nel band-gap.

Quando un secondo elettrone viene rimosso dalla catena, si possono avere due situazioni: l'elettrone è rimosso dalla catena polimerica generando un secondo stato polaronico oppure

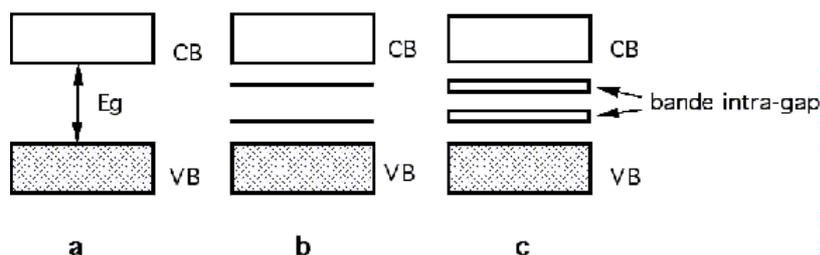


Fig.1 Teoria di banda per polimeri conduttori: a) Polimero neutro, b) Polimero poco drogato, c) Polimero drogato

è rimosso dal polarone stesso con la formazione di un bipolarone, che è definito come un dicatione con spin zero, associato ad una forte distorsione del reticolo. La formazione di un bipolarone è favorita rispetto alla formazione di due polaroni, in quanto il guadagno energetico risultante dalla interazione tra due cariche con il reticolo è maggiore della repulsione elettrostatica tra le cariche dello stesso segno.

Pertanto, così come nei semiconduttori inorganici, i polimeri conduttori devono essere drogati per presentare maggiore conducibilità. Tuttavia, diversamente dai semiconduttori i portatori di carica nei polimeri conduttori non sono elettroni o buchi localizzati all'interno di bande, ma sono difetti caricati cioè i polaroni e i bipolaroni localizzati lungo la catena polimerica. Questa particolarità va ad influenzare direttamente il meccanismo di trasporto all'interno della catena di polimero.

Nella maggior parte dei polimeri conduttori, come il polipirrolo e politiofene, il processo di drogaggio avviene simultaneamente alla ossidazione della catena. Degli elettroni vengono estratti dalla catena durante la ossidazione e si ha l'introduzione di controioni (droganti) per bilanciare la carica. I più conosciuti

accettori e donatori di elettroni, includendo gli agenti forti e deboli, sono: AsF_5 , I_2 , Br_2 , BF_3 , HF , Li , Na , K , rispettivamente. Il processo di drogaggio può essere realizzato sia attraverso metodi chimici che attraverso la esposizione dei polimeri conduttori ai vapori degli agenti di trasferimento di carica (ossidanti e riducenti).

La polianilina ed i suoi derivati, costituiscono una classe di polimeri conduttori che si differenzia da quelle viste sino ad ora in relazione al processo di drogaggio. La polianilina può

essere drogata attraverso protonazione senza che si abbia una variazione del numero di elettroni (ossidazione/riduzione) associati alla catena polimerica. La polianilina può assumere diversi stati di ossidazione dei quali la forma Esmeraldina, 50% ossidata, è la più stabile (tabella2).

La forma Esmeraldina Base (isolante) del polimero può reagire con acidi (HCl) formando la specie Esmeraldina Sale (conduttrice). La reazione di protonazione avviene principalmente sugli atomi di azoto imminici della polianilina ($-\text{N}=\text{}$). Questo stato contiene due unità ripetitive, l'ammina-

fenilene e l'immina-chinone. Oltre alla elevata conducibilità elettrica che arriva a circa 100 S/cm, una altra proprietà interessante della polianilina è quella di esibire diverse colorazioni quando si varia le condizioni di pH o di potenziale elettrico.

Sintesi

I polimeri conduttori possono essere sintetizzati con tre diversi metodi di polimerizzazione: chimica, elettrochimica e fotoelettrochimica. Tra questi metodi, la sintesi chimica è quella più utilizzata ed industrialmente è la più vantaggiosa per preparare grandi quantità di materiale. Alcune vie di sintesi sono molto semplici e possono essere adattate a scala pilota o industriale [poli(p-fenilenevinilene), polipirrolo e polianilina]. Altre richiedono ambienti esenti da umidità (polifenilene e politiofeni).

Il prodotto della ossidazione della anilina è stato inizialmente preparato nel 1862, ma le sue proprietà sono state riconosciute soltanto cento anni dopo, creando un interesse particolare dovuto al basso costo di produzione, facilità di sintesi e alta resa. Le sintesi della polianilina e del polipirrolo possono essere realizzate in modo simile sotto l'azione di un agente ossidante. Nel caso della polianilina è essenziale mantenere un mezzo con pH vicino ad 1. Alcuni dei reagenti ossidanti studiati per la polianilina sono stati $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KMnO_4 , H_2O_2 . Per il polipirrolo viene usato Br_2 , I_2 , CuCl_2 . Agenti ossidanti comuni ad ambedue sono il FeCl_3 oppure $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Quest'ultimo è molto utilizzato in quanto si ottengono buoni risultati per quanto riguarda la resa e la

Tabella 2 I tre stati di ossidazione più importanti della polianilina: leucoesmeraldina, esmeraldina (isolante e conduttrice) e pernigranilina

Stato di ossidazione	Struttura	Colore*	Caratteristica
Leucoesmeraldina		gialla 310	isolante completamente ridotta
Sale di esmeraldina		verde 320, 420, 580	conduttrice parzialmente ossidata
Esmeraldina Base		blu 330, 620	isolante parzialmente ossidata
Pernigranilina		porpora 320, 530	isolante completamente ossidata

* I valori numerici si trasferiscono al massimo di assorbimento (UV/VIS) in nm.

conducibilità del prodotto (figura 2). Il politiofene ed suoi derivati possono essere ottenuti mediante polimerizzazione con FeCl_3 o CuClO_4 .

I polimeri conduttori possono anche essere depositati elettrochimicamente sotto la forma di film su elettrodi metallici o semiconduttori. La cella elettrochimica consiste di un elettrodo di lavoro (l'elettrodo dove il film

del polimero si deposita), un contro elettrodo ed un elettrodo di riferimento. Questi elettrodi sono immersi in una soluzione contenente il monomero e l'elettrolita (anioni droganti). Nel caso dell'anilina è necessario acidificare il mezzo. Il mezzo di reazione può essere acquoso od organico, a seconda della solubilità del precursore polimerico e della stabilità del prodotto. Le dimensioni del film

formato sono limitate dalla area geometrica dell'elettrodo e dalla densità di carica utilizzata nella sintesi. Industrialmente questa tecnica è utilizzata nella preparazione di film polimerici per la produzione di batterie ricaricabili oppure per polimerizzazione in situ, utilizzando altri materiali come matricce.

La preparazione elettrochimica di film di polipirrolo in ampia scala è stata sviluppata dalla BASF AG con due metodi di produzione continua impiegando elettrodi cilindrici come mostrato in figura 3. I principali fattori che influenzano la produzione in continuo sono il tempo di residenza sull'anodo ovvero la velocità di rotazione dell'elettrodo, la concentrazione del monomero, la concentrazione dei sali elettrolitici e la densità di carica. In pratica, il processo consiste nella estrazione del film polimerico direttamente dall'elettrodo man mano che si deposita a partire dall'elettrolita che contiene il monomero. Variando le condizioni di reazione è possibile produrre film flessibili di 30 m per 150 cm. Il meccanismo di reazione è mostrato nella figura 4.

Applicazioni

I polimeri conduttori possono essere utilizzati in molte applicazioni e la conduttività è solo uno dei criteri che stabiliscono se un materiale può avere utilizzo pratico. Quando i polimeri conduttori vennero sintetizzati per la prima volta, si pensava che alcune loro proprietà chimico fisiche potessero limitare le loro applicazioni tecnologiche. I materiali erano insolubili e infusibili e quindi non potevano essere lavorati come i polimeri comuni. Molti di essi si decomponono a contatto con l'aria, il che ne restringeva grandemente la potenziale applicabilità, ma oggi in seguito a molti miglioramenti le possibilità applicative dei polimeri conduttori si sono moltiplicate.

Sotto molti aspetti, la situazione dei polimeri conduttori nel 2000 è analoga a quella dei polimeri convenzionali 50 anni fa. Sebbene allora i polimeri venissero sintetizzati e studiati in laboratori di tutto il mondo, non divennero sostanze tecnologicamente utili fino a quando non furono modificati chimicamente con processi che richiesero anni di studio per essere sviluppati. Così pure le proprietà chimico fisiche dei polimeri conduttori devono venire perfettamente adattate a

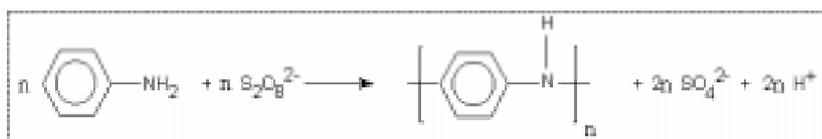


Fig. 2 Principale metodo di sintesi della polianilina

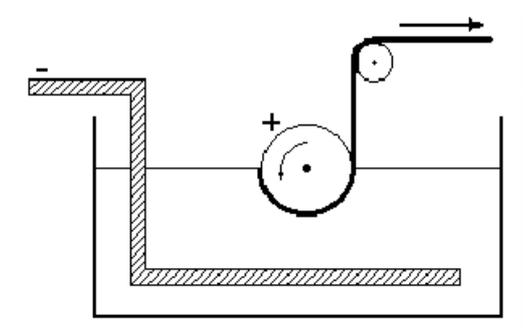


Fig. 3 Processo di produzione continua del polipirrolo. L'anodo è nella forma di un tamburo ruotante e permette la rimozione del film dalla soluzione

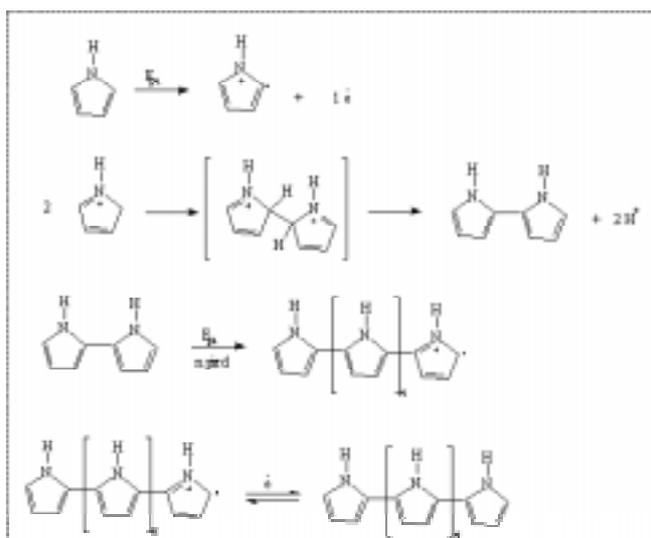


Fig. 4 Meccanismo della reazione di elettropolimerizzazione del pirolo

ciascuna applicazione per ottenere prodotti che abbiano successo commerciale.

I polimeri conduttori possiedono una combinazione di proprietà che li pongono come una attraente alternativa a certi materiali utilizzati attualmente in microelettronica. Come si può vedere dallo schema le potenziali applicazioni in questo settore sono molteplici, proprio in virtù della loro facile manipolazione chimica, del loro largo range di conducibilità in funzione della natura e della quantità di agente drogante, della loro leggerezza, processabilità ed eventualmente della loro flessibilità.

Tra tutte le specie polimeriche conduttive, il polimero più ampiamente utilizzato e studiato attualmente in microelettronica è la polianilina, in virtù delle sue peculiari caratteristiche strutturali.

Svariati studi si trovano nel settore della litografia, nella dissipazione di cariche elettriche, nella realizzazione via *electron-beam* di piste

componenti elettronici di un circuito integrato. Da non sottovalutare è anche l'importanza della polianilina nella protezione dei metalli dalla corrosione. Benché questi metalli siano detti nobili per la loro inerzia, va detto che in ambienti particolari richiedono di essere ben protetti. Inoltre, vista l'entità delle spese sostenute per i danni causati dall'accumulo di cariche elettrostatiche, soprattutto in elettronica, ma non solo, spese che nei soli Stati Uniti ammontano a ben 15 miliardi di dollari, appare chiara l'importanza dello studio dei polimeri conduttori come agenti antistatici. Un'altra proprietà dei polimeri conduttori, quella di assorbire radiazioni elettromagnetiche a bassa frequenza, permette di utilizzarli come schermi elettromagnetici per eliminare la fuga di radiazioni dai terminali dei calcolatori. Attualmente vengono impiegate a questo scopo materie plastiche con cariche di metalli o di carbonio, ma il facile trattamento e la migliore conduttività dei polimeri drogati in

ne e nella sostituzione di giunzioni a semiconduttore convenzionali, ma, questi dispositivi per il momento non hanno la stessa affidabilità dei loro progenitori al silicio, anche se un giorno potrebbero risultare molto importanti, anche in vista dell'ormai limitato sviluppo della tecnologia del silicio.

Dispositivi elettrocromici.

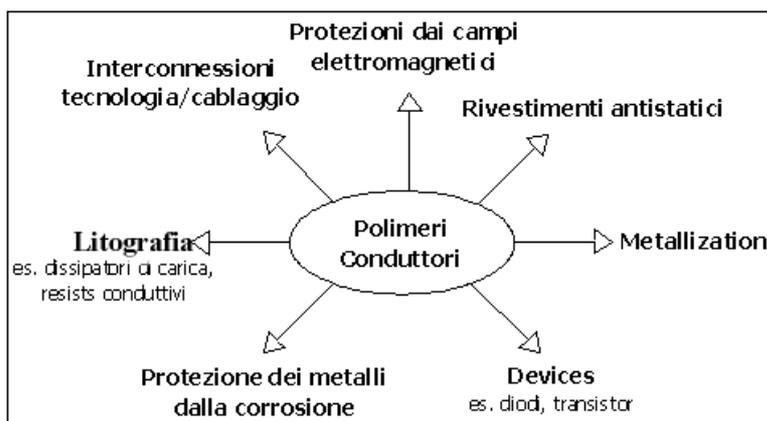
Alcuni polimeri conduttori hanno trovato applicazione nei dispositivi elettrocromici. L'elettrocromismo è il fenomeno della variazione del colore indotta in un materiale attraverso processi elettrochimici reversibili. L'applicazione di un potenziale esterno nei polimeri conduttori fa sì che questi ultimi passino dalla forma conduttrice alla isolante con un grande contrasto cromatico (variazione di colore). Un dispositivo elettrocromico è essenzialmente una cella elettrochimica nella quale l'elettrodo elettrocromico viene separato dal controlettrodo con un elettrolita liquido o solido ed il cambio di colore avviene mediante la carica/scarica della cella elettrochimica quando una piccola differenza di potenziale viene applicata (figura 5). Un dispositivo elettrocromico è utilizzato commercialmente come imballaggio per batterie alcaline con cui è possibile valutare la carica della batteria e in specchietti retrovisori di automobili per evitare l'abbagliamento degli occhi dell'autista.

Riferimenti

De Paoli, M.A., in *Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers*, v.2, Nalwa, H. S. (ed.), John Wiley & Sons, New York, 1997, p. 773.

Génies, E.M., Lapkowski, M., Santier, C., Vieil, E., *Synthetic Metals*, n.18 (1987) p. 631.

Ellis, J.R. in *Handbook of Conducting Polymers*, T.A.Skotheim (ed.), Marcel Dekker Inc., vol. 1, Nova Iorque 1986, Cap.13.



conduttrici su matrici isolanti costituite dal polimero stesso, ma in una forma non conduttiva, applicazione questa ultima in cui sono stati impiegati anche il poliacetilene ed il polipirrolo. Sempre la polianilina, il polipirrolo e il politiofene, trovano applicazione nella cosiddetta "metallizzazione", cioè nella realizzazione di interconnessioni tra i vari

maniera omogenea conferiscono loro particolari vantaggi. La proprietà della polianilina di assorbire fortemente le microonde, la pone in evidenza per questo tipo di applicazione.

Infine per quanto riguarda le applicazioni in elettronica i polimeri drogati sono stati sperimentati in diodi, in transistori, nelle piste conduttrici di circuiti stampati di nuova concezio-

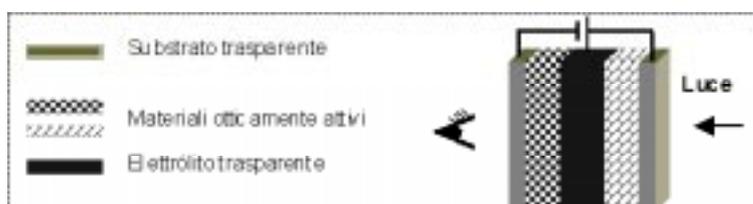


Fig. 5 Schema di un dispositivo elettronico

I BAMBINI E LE DEFINIZIONI SCIENTIFICHE

ELEONORA AQUILINI

Uno dei motivi per cui l'insegnamento delle scienze è caratterizzato da un livello d'insuccesso notevole è secondo noi il fatto che non esiste una riflessione che riguardi la distinzione fra il sapere accademico e il sapere della scuola preuniversitaria.

Il risultato è che l'insegnamento usuale e i manuali che lo accompagnano sono una riduzione, un "taglia e incolla" dei testi universitari e questo ha delle conseguenze disastrose sull'apprendimento. La progressiva riduzione della mole di spiegazioni relativa ad un determinato argomento, allo scopo di rendere comprensibile quello che di per sé non lo è in certe età scolari, comporta il salto di passaggi essenziali dal punto di vista del significato e il risultato è un collage di parole chiave con "ponti" logici solo grammaticali.

In un libro per le scuole medie, ad esempio, la parte della chimica viene tutta risolta in quattro capitoli dal titolo: gli atomi e i loro legami, gli elementi e la loro classificazione, le reazioni chimiche e i composti inorganici, i composti organici. Nel primo paragrafo del capitolo riguardante le reazioni chimiche, leggiamo all'inizio: *"Si definisce reazione chimica la trasformazione di una o più sostanze in una o più sostanze diverse. Le sostanze iniziali prendono il nome di reagenti, quelle finali di prodotti. Ad esempio la trasformazione di carbonio e ossigeno (reagenti) in anidride carbonica (prodotto) è una reazione chimica. In una reazione i legami fra gli atomi si rompono e ne formano di nuovi, dando origine a nuove molecole, che possono essere in numero uguale o diverso da quello iniziale; il numero e il tipo di atomi, invece non cambiano, perciò anche la loro massa rimane costante. Questo si esprime con la legge di conservazione della massa (o di*

Lavoisier). In una reazione chimica la somma delle masse dei reagenti è uguale alla somma delle masse dei prodotti. Oggi sappiamo che tale legge non è rigorosamente valida. Infatti durante una reazione chimica, si possono avere minime variazioni di massa dovute alla trasformazione di massa in energia (calore) in accordo alla teoria di Einstein."

A questo segue la rappresentazione delle reazioni chimiche, esplicitate in termini di formule e "frecce" che separano prodotti e reagenti. Il commento è superfluo e il passaggio dalla rilevazione degli aspetti comici allo sgomento è breve. La precisazione sulle differenze di masse è la perla finale, il culmine della sequenza di frasi grammaticalmente corrette che però non hanno nessun significato per i bambini di dodici anni a cui sono rivolte. In generale queste affermazioni non hanno significato per chi non ha costruito concetti importanti come quello di sostanza chimica, di massa, di reazione chimica dal punto di vista operativo e per chi non conosce il contesto in cui è nata l'idea della conservazione del peso (Lavoisier non parlava di massa) e come è stata provata. Con spiegazioni come quella riportata, chi non conosce questi argomenti continua a non saperli e chi li conosce li considera banalizzati.

Di fronte a cose di questo tipo l'insegnante prova a mettere insieme i concetti e a creare *infrastrutture logiche* con esempi ricavati dall'esperienza, con l'esercizio a tutto campo del buon senso, ma difficilmente questo verbalismo colma i buchi di ciò che risulta troppo difficile e incomprendibile.

In altre parole i concetti vengono *af-*

fidati esclusivamente al linguaggio, alla ricchezza del suo vocabolario, alla logica che intrinsecamente gli è propria. I contenuti della disciplina invece rimangono inintelligibili e le frasi possono essere imparato solo "a mente". Gli alunni diligenti *recitano* la lezione, gli altri svogliati si rifiutano, pensano ad altro e a chimica vanno male.

Il tutto risulta in un impoverimento in primo luogo del concetto: viene reso inconsistente dopo cento rimasticamenti verbali che partono dal manuale, passano attraverso l'insegnante che ha funzione di *traduttore* (la frase ricorrente è "cioè si vuol dire che...") e arrivano a quei pochi alunni che tentano malamente di ripetere la lezione. Si impoverisce poi di pazienza l'insegnante che di solito deve ripetere la stessa frase un numero incredibile di volte e si sente impotente di fronte a tante lacune (verbali). Ciò che è peggio è che si impoveriscono gli alunni di *autostima* perché pensano di essere loro gli incapaci, quelli che non capiscono, gli inadatti alla scuola. La perdita di *adeguatezza di sé* è accompagnata della perdita dell'opportunità di imparare a scuola qualcosa di significativo. Questo è ingiusto, è la conseguenza più grave... perché gli alunni della incomprendibilità dei concetti propinati in questo modo non hanno colpa: siamo noi adulti -insegnanti- esperti della materia che dobbiamo pensare a quello che può essere appreso ad una certa età. Ripensando al modo in cui sono insegnate le materie scientifiche facciamo qualcosa soprattutto per gli alunni.

I libri delle medie e l'insegnamento che ispirano

Guardando i libri delle scuole medie inferiori è veramente sconcertante come tutto lo scibile scientifico, dai concetti basilari alle teorie più avanzate della chimica, della fisica, della

biologia, vengano presentati in modo disinvolto, senza *inibizioni* storiche ed epistemologiche di alcun tipo. Il linguaggio è rigido e austero perché è un susseguirsi di definizioni ossia di *conclusioni* del lavoro degli scienziati. Queste ultime racchiudono l'essenzialità del lavoro, sono riassuntive, escludono gli ostacoli e le contraddizioni che ci sono stati lungo il percorso, non evidenziano la lotta che si è verificata fra paradigmi diversi. La definizione è sintetica, è pulita, netta, esclude la storia.

Tante definizioni che *incedono* e *incalzano* nella trama del libro di testo caratterizzano la scienza come qualcosa di astorico, che procede con logica deduttiva, senza lacrime e sangue.

Non interessa quindi l'ordine cronologico con cui sono nate le idee, la loro genesi, l'importante è partire dall'oggi, dalle teorie attuali e spiegare i *fatti* (esperienze, mondo macroscopico) utilizzando le teorie che riguardano il mondo microscopico. Si capovolge la storia, si prende il punto di vista dell'accademia e si procede spediti verso un insieme di definizioni che si susseguono una dopo l'altra (tutte insieme, con l'aggiunta di qualche esperienza dimostrativa da effettuare in laboratorio, fanno il libro).

Il riferimento iniziale ai fenomeni c'è quasi sempre, questo dà un tocco galileiano a cui non si può rinunciare; però se il singolo fenomeno di cui si sta parlando non si conosce è irrilevante, tanto la spiegazione metterà in chiaro tutto ugualmente. Questa mette sempre in gioco particelle che non si possono vedere, mondi piccoli, forze tenaci e audaci, poteri magici che sono traghettati dalla fantasia alla realtà dal peso e dall'autorità del gergo scientifico. Si può pensare che le storie sul mondo *piccolo piccolo* vengano credute dai bambini non perché siano comprensibili ma solo per il fatto che appartengono al mondo della Scienza. Tanta autorevolezza e riverenza proviene dal senso comune: con la scienza si possono produrre cose *vere* e importanti, la scienza è *utile* e *serve*, la scienza è la tecnologia.

Con questi atti di fede, basati su fraintendimenti di concetti complicati e non banali, si alimenta, fra le altre cose, una mentalità che è il contrario di quella scientifica. Inoltre viene confusa la conoscenza di termini con l'acquisizione di concetti. Così l'uso

di termini come molecola, atomo, protone, elettrone, neutrone, fa sentire partecipi del grande mondo della scienza; la sostanziale incomprendione di questi termini rende misterioso e magico questo universo. Individualmente il tutto si traduce in vuoto conoscitivo perché con quelle *parole* i bambini non sono in grado di darsi neanche una spiegazione di un fenomeno semplice, né di tradurre l'esperienza sensoriale in qualcosa di razionale... non riescono ad "appropriarsene" in alcun modo.

Quale insegnamento per i bambini delle scuole elementari e medie?

Le motivazioni psicopedagogiche rintracciabili in Piaget, Bruner e Vygotskij riguardo all'adeguatezza dei concetti alle varie età evolutive per rendere efficace l'apprendimento ci fanno pensare che il punto di vista dei manuali (dal microscopico al macroscopico) non è quello che può essere significativo per il bambino delle scuole elementari e medie. In un periodo della vita in cui è importante essere operativi concretamente per poi interiorizzare gradualmente le azioni, facendole diventare operazioni della mente, ossia pensiero astratto, come si può ritenere che sia possibile un insegnamento scientifico che parta dal microscopico, ossia dall'invisibile?

E' il mondo macroscopico che dovrebbe essere oggetto di studio ed in particolare i fenomeni che possono essere osservati, riprodotti con semplici esperienze e che dal punto di vista teorico sono abbastanza semplici.

Il mondo macroscopico che si vede, che si può toccare e manipolare, che si può interrogare, su cui si possono verificare ipotesi, deve essere non solo osservato ma descritto, letto, riletto con un linguaggio sempre più adeguato. Studiando i fenomeni si possono costruire *definizioni operative* che assomigliano alle azioni interiorizzate, sono i primi pensieri scientifici che poi contribuiranno a formare schemi più generali che potranno abbracciare pensieri scientifici adulti.

Le definizioni operative sono *costruite* passando dall'individuale (quello che scrive il bambino) al sociale (quello che riscrive dopo che ha modificato il suo punto di vista confrontandolo con quello degli altri), con la negoziazione dei significati di cui parla Bruner. Tali definizioni sono preci-

se ma non hanno nulla che ricordi la perfezione autoritaria degli enunciati che leggiamo sui libri. Contengono la difficoltà dell'oggettivazione della percezione, nella ricerca del rispetto reciproco ("quello che io ho visto è qualcosa di meno o qualcosa di più di quello che hai visto tu.... Posso *accordarmi* con te a descrivere questo fatto in modo che sia compreso il mio e il tuo punto di vista). Sono imperfette come tutte le attività che sono frutto del tentativo di applicare concretamente i principi della democrazia.

L'insegnante media, indirizza, è un regista di un copione che è solo un canovaccio, perché l'opera finale sarà parzialmente diversa in ogni classe, visto che gli attori stessi la costruiscono con la propria individualità.

Le definizioni operative sono però, come già detto, la base per la comprensione della scienza adulta, quella fatta di leggi che riguardano il mondo macroscopico e microscopico. Perché non c'è dubbio che prima o poi si debba arrivare lì.

Nella scuola preuniversitaria si tratta, a nostro avviso, di capovolgere il punto di riferimento: all'università è la disciplina con tutto il suo statuto, nella scuola che la precede deve essere l'alunno che sta al centro. Questo è ciò che dovrebbe comportare la realizzazione del curricolo verticale per le scienze o per qualsiasi altro insegnamento.

Le discipline devono essere smontate e rimontate per capire quello che può essere insegnato in una certa età, devono essere funzionali allo sviluppo del bambino, oltre che oggetto di apprendimento. Smontare le discipline vuol dire andare ad analizzare come sono fatte. Guardiamo la chimica ad esempio. Il sapere chimico fa riferimento a quattro ambiti: l'ambito dei fenomeni, l'ambito delle leggi macroscopiche, quello dei modelli microscopici ed infine quello del linguaggio chimico. Il linguaggio è trasversale ai primi tre, ai quali si attribuisce un ordine psicologico.

In una schematizzazione che riduce e semplifica la complessità dell'interazione fra i vari ambiti, pensiamo che nella scuola primaria e secondaria di primo grado, si dovrebbe affrontare l'aspetto fenomenologico con un'impostazione di tipo operativo, all'interno dell'educazione scientifica. Nel biennio della scuola secondaria di secondo grado riteniamo significativa la com-

prensione delle leggi macroscopiche della chimica classica giungendo alla struttura particellare con la teoria di Dalton. L'importanza di concetti basilari per la chimica come quelli di sostanza, composto, elemento, necessità di un lavoro che riguarda lo studio delle leggi ponderali e queste hanno trovato una loro giustificazione con la teoria atomistica di Dalton. La distinzione fra sostanza semplice e composta dovrebbe quindi essere costruita nel biennio. Nel triennio, in concomitanza con l'acquisizione delle necessarie conoscenze fisiche, dovrebbe essere trattata la struttura dell'atomo con i diversi modelli, le

teorie riguardanti il legame chimico e gli aspetti didatticamente significativi della chimica del Novecento.

Bibliografia

- Braccini, Bosco, Durante, *Il libro di scienze*, Le Monnier, Firenze, 2002, Vol.2, p.149-150.
- J.Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli, Milano, 1997, p.55.
- C. Fiorentini, Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo?, in F.Cambi (a cura di), *L'arcipelago dei saperi, Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola dell'Autonomia*, Le Monnier, Firenze, 2000, p.275-290.

- C. Fiorentini, E. Roletto, "Ipotesi per il curricolo di chimica", CnS- La chimica nella Scuola, 2000, XXII (5), p.158-168.
- T. S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1995
- J.H.Flavell, *La mente dalla nascita all'adolescenza nel pensiero di Jean Piaget*, Astrolabio, Roma, 1971.
- L.S. Vygotskij *Pensiero e linguaggio*, Giunti-G.Barbera, Firenze, 1969.
- J.Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli, Milano, 1997, p.55.
- L. Geymonat, *Lineamenti di filosofia della scienza*, Mondadori, Milano, 1985, p.38-39.

Lettere

Orbitali: fino a quando?

Egr. Prof. Mirone

Sono un'insegnante di chimica dell'I.T.I.S. "S. Fedi" di Pistoia, e sono una fedele lettrice di CnS da diversi anni. Ho letto con molto interesse gli articoli relativi alla didattica della struttura atomica imparando ad evitare quindi, durante gli ultimi anni scolastici, di affrontare il modello atomico ad orbitali con i ragazzi del biennio. Nel periodo estivo ho cercato, tramite internet, i quesiti proposti ai giochi della chimica nel 2001 e ne ho trovato uno, il nr. 56, che mi ha lasciato un pò perplessa. Lo riporto integralmente a promemoria:

"Il valore della carica positiva che si esercita su un elettrone che si configura in un orbitale p di un atomo dipende: a) ... b) ... c) ... d) ...". Ma allora, "gli orbitali dovrebbero essere sconsigliati ai minori", come dice Rinaldo Cervellati su CnS nr. 3 del 1987, oppure no?

La ringrazio per la cortese attenzione.

Pistoia, 22 ottobre 2002

Tatiana Pisaneschi

Continuo a pensare con Rinaldo Cervellati che "gli orbitali dovrebbero essere sconsigliati ai minori", e non soltanto a questi, in quanto tutta la chimica che si insegna alla scuola secondaria e al primo anno di università può essere fatta vantaggiosamente senza introdurre gli orbitali (nel-

l'esempio riportato dalla lettrice sarebbe bastato sostituire "orbitale" con "livello energetico" o semplicemente "livello").

Purtroppo la setta degli orbitalisti conta ancora numerosi seguaci, in particolare, a quanto mi dicono, fra gli editori di libri scolastici che temono di non riuscire a vendere testi privi di questo ingrediente. Quando capiranno che gli orbitali non sono "regioni di spazio" ma puri artifici matematici privi di realtà fisica?

Ma temo che fino a quando la maggioranza degli insegnanti continuerà ad adottare passivamente testi che usano il modello atomico ad orbitali non ci sarà speranza che gli editori cambino la prassi attuale.

Paolo Mirone



Lettera aperta alla Comunità Educatrice

Nè boicottaggio nè silenzio

Nell'aprile 2002 più di cento accademici e ricercatori di università europee, principalmente del Regno Unito, hanno pubblicato su *The Guardian* un appello per una moratoria su tutti i futuri scambi culturali e di ricerca con Israele a livello europeo o nazionale "a meno che e fino a che Israele si attenga alle risoluzioni dell'ONU ed inizia negoziati di pace seri con i Palestinesi, seguendo le linee proposte in molti piani di pace ...". Un appello simile è stato sottoscritto anche negli Stati Uniti.

Questi appelli sono stati condannati in un altro documento collettivo, intitolato "Protesta contro l'appello per il boicottaggio europeo di collegamenti culturali e di ricerca con Israele", nel quale il proposto boicottaggio è stato qualificato come "un atto di punizione collettiva improprio ed immorale, indegno di colleghi delle comunità accademiche europee".

Entrambi questi documenti esprimono, indubbiamente, il profondo disagio e l'impotenza di una comunità scientifica che non può tacere di fronte ad un problema che sta diventando sempre più serio. Ma entrambi questi documenti esprimono un atteggiamento di rifiuto, lo stesso che divide ed è alla base del confronto tra queste due comunità, aggiungendo tensione ad una situazione esplosiva.

Senza entrare nel merito di questo confronto, alcuni Israeliani e Palestinesi stanno cercando per le due comunità un avvicinamento e una migliore comprensione vicendevole, sapendo che non c'è nessun'altra soluzione alla spirale di violenza che lo stabilirsi di relazioni rispettose e di collaborazione. Questo è il caso di Daniel Barenboim ed Edward Said, che hanno creato un laboratorio musicale per giovani interpreti delle due comunità. La loro azione ha fatto nascere più aspettative e speranze per le possibilità di pace che qualunque manifesto di condanna.

Secondo noi, è lo spirito dell'iniziativa di Barenboim / Said che dovrebbe essere sostenuto e accresciuto: approfittando della nostra attività e sta-

bilendo collaborazioni, *nello stesso tempo*, con Palestinesi ed Israeliani. Nel nostro settore dell'educazione questo può essere fatto, per esempio, concependo e attuando progetti scientifici che coinvolgano gruppi di entrambe le nazioni; o progettando numeri monografici in riviste scientifiche specializzate di didattica, includendo contributi dalle due comunità; o organizzando conferenze internazionali con

due co-presidenti (Palestinese ed Israeliano) ... o in molte altre maniere. *Non possiamo tacere e i boicottaggi non sono la soluzione.* La cosa essenziale è esprimere il nostro appoggio per quelli che, in Israele e in Palestina, rifiutano un confronto suicida e lavorano per la pace. Questo è l'oggetto della nostra lettera aperta alla comunità educante, sperando di contribuire ad una molteplicità di iniziati-

ve fruttuose.

Daniel Gil-Pérez ed Amparo Vilches
Università di Valencia, Spagna

P. S. Accettiamo volentieri qualunque riproduzione, totale o parziale, di questa lettera aperta in ogni mezzo di comunicazione di massa e la raccolta di altre firme, allo scopo di favorire la diffusione di questa e di altre proposte simili.

SCHEDA DI ADESIONE

X CONVEGNO DI STORIA E FONDAMENTI DELLA CHIMICA PAVIA OTTOBRE 2003

Scheda di adesione da restituire compilata entro il 31 gennaio 2003 a:

Dr. M. CIARDI

c/o ISTITUTO E MUSEO DI STORIA DELLA SCIENZA PIAZZA DEI GIUDICI, 1

50122 FIRENZE - E-MAIL: mmciardi@iol.it

Desidero partecipare al X Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica e ricevere la seconda circolare che prego di spedirmi al seguente indirizzo:

Nome e Cognome ..

Ente di appartenenza ...

Via

CAP CITTÀ.....

FAX . E-MAIL ..

Desidero presentare una comunicazione scientifica

SI

NO

Titolo provvisorio:

Area tematica in cui la comunicazione potrebbe collocarsi

SIMULAZIONE SEMISERIA DI UN INCENERITORE PER RIFIUTI

Riassunto

In laboratorio è possibile costruire un rudimentale "inceneritore" per rifiuti: con questo si possono evidenziare sia alcuni aspetti energetici riguardanti le reazioni chimiche, sia sensibilizzare i ragazzi sui metodi di smaltimento dei rifiuti, facendoli anche divertire. Questa esperienza è stata utilizzata anche come Area di Progetto per le classi seconde di un ITI.

Abstract

In the chemical laboratory it is possible to build up a waste material incinerator so that some aspects about energy in chemical reactions can be underlined and our students become aware of different methods to dispose waste material. This experiment has also been used as interdisciplinary work in the second forms of a technical institute.

Introduzione

Tutti coloro che insegnano chimica in un biennio ITI, in cui non ci siano specializzazioni ad indirizzo chimico o fisico, conoscono le difficoltà che si incontrano a motivare i ragazzi nello studio di una disciplina che, non "continuando", nominalmente, nel triennio, non influenza il voto finale dell'Esame di Stato. Un altro problema è quello legato alla necessità di far comprendere ai ragazzi che il rispetto delle normative di sicurezza dovrebbe essere adottato anche al di fuori dei laboratori. È per questo che abbiamo messo a punto questa semplice esperienza di laboratorio che permette ai ragazzi di confrontarsi con numerosi concetti legati agli aspetti energetici delle reazioni chimiche, divertendosi allo stesso tempo.

Un altro aspetto interessante di questo lavoro è che ha permesso di affrontare in maniera interdisciplinare gli aspetti collegati allo smaltimento,

ANTONELLA CASARINI (*)
MARIA GRAZIA CAZZATO (*)
MARINA CONTI (*)
SANDRA ESPOSITO (*)

recupero e riutilizzo dei rifiuti solidi urbani: infatti in alcune classi è stata svolta un'Area di Progetto che ha coinvolto anche insegnanti di altre materie (fisica, italiano, diritto ed economia, tecnologia), che hanno affrontato questo tema, impostandolo secondo le competenze specifiche della propria disciplina.

Parte sperimentale

Materiali occorrenti per ogni gruppo:

- Ø due contenitori in banda stagnata (le lattine per "pomodori pelati" vanno benissimo, purché vengano rimossi i bordi taglienti che rimangono dopo lo svuotamento)
- Ø un becher di pirex da 500 mL, in grado di contenere le lattine sopraindicate
- Ø un contenitore in polistirolo in cui si possa inserire il becher (ad esempio gli imballaggi per i bottiglioni di solvente da 2,5 litri)
- Ø un cilindro graduato da 500 mL
- Ø un termometro (la cui sensibilità deve essere almeno di 0,5°C)
- Ø una bilancia tecnica
- Ø una cappa aspirante
- Ø una scatoletta di fiammiferi (possibilmente quelli lunghi per caminetto)
- Ø una pinza di legno
- Ø i seguenti materiali da bruciare, in pezzatura fine o tagliati in strisce sottili: carta, legno, contenitori per liquidi in cartone (brick), tessuto di vario tipo (possibilmente cotone, ma non jeans), legno, polietilene (PE), polistirene (PS), polipropilene (PP).

Si procede in questo modo:

□ si pesa uno dei contenitori metallici vuoto e asciutto (m_1) e vi si inserisce tanto materiale da bruciare sino ad occupare meno della metà della lattina, senza comprimerlo; si determina

la massa della lattina piena (m_{1p})

□ nel becher si introduce un volume di acqua (V_{acqua} ; va benissimo quella corrente), misurato con il cilindro graduato; si inserisce il becher nel contenitore di polistirolo e la lattina nel becher (tenendola immersa con un morsetto ed un sostegno) e si misura la temperatura dell'acqua fino a che non rimane stabile (t_1).

□ si posiziona il tutto sotto la cappa aspirante (nel caso del polistirene) o su un banco munito di aspiratori (per gli altri materiali) e si accende il materiale all'interno con il fiammifero (cercando di rimuoverlo non appena il materiale ha preso fuoco): in alternativa si può accendere una striscia di materiale esternamente al sistema e poi si butta all'interno del contenitore metallico. Il mantenimento della fiamma accesa è di fatto la parte più problematica dell'esperienza.

□ ogni gruppo deve registrare le osservazioni durante tutte le fasi dell'esperienza (difficoltà nell'accensione, velocità della combustione, aspetto dei fumi, colore della lattina alla fine, ecc..)

□ quando la fiamma si spegne e non si riesce più a riaccendere nemmeno con altri fiammiferi (l'uniformazione dei criteri è un aspetto importante) si misura la temperatura dell'acqua, sino a quando non raggiunge il valore massimo t_2 .

□ si estrae la lattina dall'acqua, si asciuga all'esterno e si misura la massa finale (m_{2p})

Alcuni consigli per ottimizzare i tempi:

◆ i materiali vengono portati dai ragazzi (di solito deve essere fatta una breve distinzione tra le sigle presenti sugli imballaggi) almeno due settimane prima dell'esperienza: noi li abbiamo fatti tagliare in strisce sottili sfruttando i tempi morti durante le precedenti lezioni in laboratorio, suddividendoli per materiali:

◆ il miglior legno da utilizzare è quello delle cassette per la frutta (i pezzetti di ramo raccolti nei giardini fanno

molta fatica a mantenere la fiamma);
 ♦ la seconda lattina si può pesare da vuota, riempire con un altro materiale e pesare da piena mentre procede la prima combustione. Ogni lattina, lavata e asciugata, può essere riutilizzata;
 ♦ per essere sicuri che ciascun gruppo raccolga tutti i dati necessari sarebbe bene costruire una tabella in bianco, affinché sia possibile controllare se tutti i dati sono stati raccolti correttamente;

ragazzi nel corso della stesura della relazione sull'area di progetto: lo schema dell'apparecchiatura è indicato in figura 1.

Elaborazione dei dati

Le misure fatte con questa esperienza possono essere elaborate in modi differenti, a seconda degli obiettivi che si vogliono raggiungere. In genere per le classi seconde può essere più proficuo far bruciare ad

bilità di metodi di cura, sondaggi elettorali che davano risultati completamente differenti da quelli ottenuti dopo lo spoglio, analisi e controanalisi in casi di doping, ecc..) portando ad una maggiore riflessione sul significato della trattazione statistica di dati. Nel corso di questo anno scolastico abbiamo esteso questa esperienza anche ai ragazzi del quarto anno del corso Liceo Scientifico Tecnologico: ogni gruppo ha analizzato un diverso

Tabella	$m_v \pm \text{errore}$	$m_{1p} \pm \text{errore}$	$m_{2p} \pm \text{errore}$	$t_1 \pm \text{errore}$	$t_2 \pm \text{errore}$	$V_{\text{acqua}} \pm \text{errore}$	controllo: $m_{1p} > m_{2p} > m_v$	controllo: $t_2 > t_1$
carta								
PS								
PE								
.....								

♦ se i gruppi si possono alternare tra cappa aspirante e banchi, durante le due ore abbiamo visto che 6 gruppi riescono a bruciare ciascuno almeno 2 materiali e, se sono ben sincronizzati, anche 4. Ad esempio: se la carta e uno dei materiali plastici devono essere analizzati da tutti, successivamente si può procedere con gli altri materiali. In ogni caso, anche se i posti disponibili fossero pochi, l'esperienza è sicuramente più educativa se viene condotta dai ragazzi in prima persona, e non in modo dimostrativo dall'insegnante: quest'ultimo può però girare tra i banchi e stimolare le osservazioni e le riflessioni sulle caratteristiche della combustione;

♦ si può conservare, ovviamente dopo la pesata finale, una lattina utilizzata per bruciare il polistirene: su questa si può far avvenire la combustione mentre la si riscalda con il bunsen: si faranno numerose osservazioni sia sulla velocità di accensione, sia sui residui nerastri attaccati alla lattina, che facilmente, per effetto dell'alta temperatura, bruceranno sino alla scomparsa del colore;

♦ l'esperienza, con ogni materiale, può essere ripetuta facendo bruciare il materiale e utilizzando i fumi per riscaldare l'acqua contenuta in una lattina: in questo modo ogni gruppo ha analizzato un solo materiale, ma, sommando il calore ottenuto con questa prova (riferito ad un kg di materiale) con quello ottenuto dalla prova precedente, ha ottenuto valori più vicini a quelli riportati in letteratura [1,2]. Il dispositivo per condurre questa esperienza è stato suggerito dagli stessi

ogni gruppo più di un materiale, affinché ciascuno possa fare un confronto tra tutti i materiali considerati. In tal caso gli studenti devono avere ben chiari i concetti basilari di propagazione degli errori (calcolo degli errori assoluti e relativi o percentuali). In alcuni casi gli insegnanti di fisica hanno utilizzato questa esperienza come spunto per confrontare i risultati ottenuti con lo stesso materiale: l'elevata (in alcuni casi) dispersione dei risultati ha permesso di affrontare meglio il concetto di uniformazione dei metodi di misura, individuando quali fossero le operazioni, fatte in modo diverso (magari inconsapevolmente) dai vari gruppi, che potevano influire sulla misura finale. In questo modo si è visto come un metodo di misura, se non perfettamente ripro-

dotto da gruppi diversi (esempio sul numero di fiammiferi utilizzati, o sulla dimensione dei pezzi da bruciare, o sulla compressione dello stesso materiale nella lattina, ecc..) portasse a misure molto diverse tra loro. Queste osservazioni sono state messe in relazione con fatti di cronaca avvenuti nello stesso periodo (attendi-

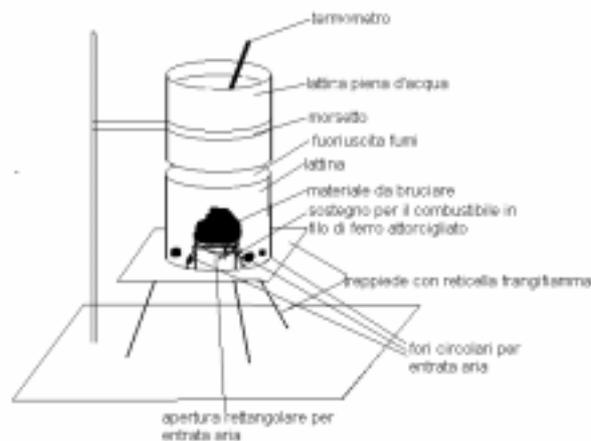


Figura 1: dispositivo per misurare il calore trasmesso dai fumi all'acqua

Le grandezze che sono state ricavate con questa esperienza sono:

a) calore assorbito dall'acqua per unità di massa (di combustibile consumato) = Q_a/m_c

Si ammette che tutto il calore sviluppato durante la combustione vada a riscaldare l'acqua contenuta nel becher o nella lattina sovrastante la combustione. Inoltre, per ovviare al fatto che i materiali si consumano in modo diverso, si presuppone che gli unici prodotti della combustione siano gassosi e che, quindi, i residui solidi corrispondano a materiale che non ha bruciato, cioè che non ha fornito calore: questo non è sempre vero, soprattutto nel caso del polistirene, ma non modifica sostanzialmente il senso dei risultati ottenuti. Il calcolo, esprimendo ogni grandezza con unità SI, risulta:

$$\frac{Q_a}{m_c} = \frac{V_a \times d_{acqua} (t_2 - t_1) \times 4186}{(m_{1p} - m_{2p})}$$

I risultati vengono così espressi in J/kg e per ognuno deve essere calcolato l'errore assoluto: si vedrà che la grandezza che più influenza l'errore è la temperatura, da qui la necessità di utilizzare dei termometri che non abbiano sensibilità inferiore a 0,5°C.

I risultati ottenuti sono indicati in Tabella 1.

a) percentuale di consumo del materiale durante la combustione = % consumo

$$\% \text{ consumo} = \frac{(m_{1p} - m_{2p})}{(m_{1p} - m_r)} \times 100$$

Questa grandezza, che non ha particolare interesse per gli aspetti energetici, può fornire molte informazioni sulle difficoltà che si possono oggettivamente incontrare, anche in un inceneritore per RSU, con questi materiali. Ovviamente questa grandezza tenderà a zero per quei materiali che bruciano male, mentre per quelli che si consumano quasi completamente tenderà al 100%. Generalmente il calcolo dell'errore per questa grandezza non evidenzia problemi particolari. Anche questi risultati sono indicati in Tabella 1.

In tabella 1 sono indicati i valori di Calore prodotto/massa consumata, ottenuti complessivamente nei vari anni: l'intervallo di confidenza indicato è quello che tiene conto degli

scostamenti tra le varie misure: infatti nel corso dei vari anni non abbiamo utilizzato sempre gli stessi materiali, quindi per alcuni abbiamo a disposizione parecchi risultati, per altri meno. Un anno, poi abbiamo deciso di analizzare insieme i materiali PS e PE, pur sapendo che si trattava di materiali differenti. Nelle stesse condizioni è stata misurata la % di combustione, che però abbiamo visto risentire moltissimo dell'abilità dei singoli operatori nel condurre la combustione. Per alcuni materiali, inoltre, sono state fatte le misure di Calore prodotto misurando anche quello ceduto dai fumi.

Sono state raccolte inoltre una serie di osservazioni molto interessanti: \checkmark si deve impedire la compressione del materiale mentre brucia, e disperdendo i fumi la combustione procede meglio.

\checkmark la carta brucia molto più rapidamente del legno e comunque deve sempre essere ben arieggiata

\checkmark la plastica brucia inizialmente rapidamente, poi, una volta fusa, forma un blocco unico sul fondo della lattina: la combustione riprende solo se questo blocco viene disposto, con l'aiuto di una bacchetta di vetro, verticalmente. Alla fine dei conti comunque brucia pochissimo materiale rispetto, ad esempio, alla carta.

\checkmark il polistirene bruciando forma del fumo nero, la carta e la legna del fumo grigio, nel caso della legna anche molto irritante per gli occhi, e il polietilene produce un fumo pressoché trasparente.

\checkmark la fiamma di carta e legno è colorata di giallo-arancio

\checkmark i residui della plastica bruciano molto meglio se la lattina viene messa sopra un bunsen acceso

Tutti i risultati sperimentali hanno permesso una serie di considerazioni, fatte **insieme ai ragazzi**:

A) i valori di calore ottenuti sono molto più bassi dei corrispondenti valori di potere calorifico inferiore, perché per questi ultimi è stata utilizzata una bomba calorimetrica, senza dispersione del calore. Sono i fumi caldi, che in questa prova non riescono a scambiare completamente calore con l'acqua, e non le braci, ad avere il contenuto termico maggiore (e per molti ragazzi questa è stata una sorpresa!!!): da qui le considerazioni sull'inquinamento termico, causato dai flussi di gas caldi provenienti dalle varie attività produttive, sono state molto interessanti;

B) le misure di calore fatte dimostrano che carta, legno e cotone contengono sostanzialmente legami dello stesso tipo, infatti la quantità di energia prodotta è molto simile;

C) la maggiore quantità di calore prodotta dai materiali di tipo plastico è stata un'ulteriore conferma delle conoscenze teoriche già note, cioè che sono presenti in questi materiali molti più legami di tipo C-C e C-H, rispetto a quelli presenti nei materiali cellulósici;

D) l'analisi dei risultati all'interno della stessa classe ha permesso di fare

Tabella 1. Valori del calore di combustione ottenuti con entrambi i metodi, confrontati con i valori di potere calorifico inferiore (indicati sul libro di testo¹ e disponibili in altri testi utilizzati anche con l'insegnante di fisica) e % di combustione.

Materiale	Legno	Carta	Cotone	PE	PS
Potere Calorifico ^(1,2) (MJ/kg)	26 ± 9	19 ± 2	20 ± 3	40 ± 6	37 ± 5
Calore di combustione/massa consumata (solo trasmesso all'acqua circostante) (MJ/kg)	3,3 ± 0,1	8 ± 2	3,8 ± 0,5	14 ± 2	12 ± 2
				13 ± 3	
% di combustione (%)	50 ± 20	73 ± 3	86 ± 5	20 ± 7	37 ± 2
Calore di combustione/massa consumata (tenendo conto anche dei fumi) (MJ/kg)	10 ± 1	14 ± 3	13 ± 1		13 ± 3

numerose considerazioni su: misure che incidono in modo diverso sull'errore, misure molto diverse rispetto alla media dei risultati, comportamenti che incidono sulla precisione della misura, utilizzo di metodi alternativi per eseguire le misure poco precise;

E) la difficoltà ad accendere questi materiali, ha permesso ai ragazzi di comprendere meglio il concetto di energia di attivazione: questa correlazione non è corretta, però per i ragazzi di seconda superiore, che non hanno strumenti di tipo matematico per analizzare l'espressione di Arrhenius, è stato molto utile vedere che, ad esempio, utilizzando anche la fiamma del bunsen, il materiale prendeva fuoco meglio. Infatti non è facile far comprendere la dipendenza della velocità di una reazione dalla temperatura, che per i ragazzi è ovvia per le reazioni endotermiche, ma non per quelle esotermiche: questo effetto è stato visualizzato ancor meglio quando è stata provata la combustione dei residui di polistirene aiutandosi con il becco bunsen. Ovviamente questo tipo di considerazioni è stato approfondito in modo diverso con i ragazzi di quarta liceo.

F) la differenza di velocità di combustione tra legno e carta, che sono costituiti con lo stesso materiale, è riconducibile non solo all'umidità presente nel legno, ma anche al fatto che la carta presenta una maggiore superficie di contatto con il reagente ossigeno;

G) l'effetto della concentrazione dell'ossigeno sulla velocità di reazione è stato molto evidente: infatti si formava molto fumo che, essendo più pesante dell'aria, ne impediva l'avvicinamento alla superficie accesa e, quindi, il proseguimento della combustione;

H) l'effetto dell'area superficiale si è visto quando i ragazzi hanno dovuto "raddrizzare" la piastra di materiale plastico, formatosi durante la combustione in seguito alla sua fusione, per mantenere accesa la fiamma: di fatto hanno raddoppiato l'area superficiale

I) la misura della % di combustione ha reso chiaro il senso del termine "scoria"

J) alla domanda posta "come faresti per riuscire ad ottimizzare la combustione?" sono seguite soluzioni anche ingegnose, finalizzate sia alla misura di tutto il calore di combustione (e solo in pochi hanno preso in con-

siderazione la bomba calorimetrica, che peraltro avevano visto solo in fotografia), sia al raggiungimento della completa combustione (con soluzioni di fatto simili a quelle adottate negli inceneritori, con particolare attenzione al recupero completo del calore): basandosi su queste risposte i ragazzi hanno elaborato l'apparecchiatura indicata in figura 1.

K) la colorazione della fiamma ha fatto capire che sicuramente sono presenti sali di sodio nel legno e nella carta (alcuni hanno ipotizzato di utilizzare lo spettroscopio per individuare tutte le righe presenti)

L) il colore nero dei fumi di polistirene è stato associato subito al concetto di "tossico", nessuno però pensava che anche i fumi del legno fossero così irritanti. Da qui alla considerazione sul fatto che sarebbero necessari sistemi di abbattimento per tutti gli impianti a combustione (anche per quelli a legna) il passo è stato breve. M) è stato osservato che il polietilene e il polipropilene, a volte mescolato con il primo, fondono molto facilmente senza cambiare colore; il polistirene invece, appena fonde, comincia a formare del nerofumo: questo ha fatto capire perché i primi due materiali plastici vengano raccolti per il recupero (che si attua con la fusione degli imballaggi) nei normali raccoglitori cittadini, mentre gli imballaggi in polistirene non vengano raccolti negli stessi contenitori, ma vengono inviati in discarica o all'incenerimento, dove, con un'elevata temperatura, è possibile ridurre la produzione dei fumi neri.

Aspetti legati all'Area di Progetto

L'argomento si presta a numerose trattazioni, compatibili con le materie affrontate dai ragazzi durante il secondo anno ITI e con la scansione temporale dei singoli argomenti: già la stesura di una relazione di laboratorio corretta congiuntamente dai due insegnanti di fisica e chimica ha prodotto ottimi risultati.

In alcuni casi gli insegnanti di italiano avevano trattato, mediante lettura di articoli tratti da quotidiani e/o riviste, il tema della raccolta differenziata e dell'impatto ambientale degli inceneritori. In questo caso nella relazione di laboratorio i ragazzi hanno dovuto fare delle considerazioni anche coinvolgendo queste argomentazioni, che sono state valutate anche dall'insegnante di lettere.

Con l'insegnante di Diritto ed economia è stata presa in esame, a grandi linee, la normativa che regola l'argomento, dalle leggi sulle emissioni in atmosfera agli obblighi riguardanti la raccolta differenziata per le aziende. L'insegnante di Tecnologia e Disegno ha affrontato con alcune classi le soluzioni tecniche ed i materiali che vengono utilizzati per favorire al massimo lo scambio termico negli inceneritori (tenendo conto che gli stessi argomenti verranno trattati, in modo molto più approfondito, nelle classi del triennio ad indirizzo meccanico). Abbiamo sempre cercato di trovare una forma di valutazione congiunta, o della relazione di laboratorio (in alcuni caso corretta anche dall'insegnante di lettere) o di un questionario formulato dagli insegnanti coinvolti: in quest'ultimo caso l'impatto è stato notevole, perché ha dato veramente ai ragazzi l'impressione di come uno stesso argomento si possa affrontare in modo interdisciplinare.

Ci sono stati alcuni risultati inaspettati con questo tipo di lavoro: i ragazzi hanno prestato maggior attenzione nel curare la forma linguistica di un lavoro sostanzialmente di tipo tecnico (e chi corregge le relazioni di laboratorio sa quanto siano frequenti gli errori di ortografia o di sintassi), sapendo che sarebbe stato valutato anche dall'insegnante di italiano e, allo stesso tempo, anche quelli che normalmente hanno difficoltà nello scrivere hanno avuto la possibilità di farlo su di un argomento su cui avevano avuto un'esperienza diretta, ottenendo risultati migliori del solito. Questo progetto si presta a numerosi sviluppi, che dipendono dalla strumentazione disponibile e dal tipo di obiettivi che ci si vuole porre; ad esempio quest'anno sono state coinvolte alcune classi di terza media, che avevano fatto un lavoro in merito, e che hanno assistito all'esperienza condotta dai ragazzi di quarta Liceo Scientifico Tecnologico: chiunque abbia condotto esperienze di questo tipo sa quanto sia coinvolgente per i ragazzi avere questo tipo di scambio "tra pari".

Conclusioni

Questa esperienza permette di affrontare dal punto di vista scientifico la combustione, cioè di legare una materia spesso considerata "teorica" come la chimica ad un fenomeno della vita "reale". Inoltre i ragazzi vedo-

no come sia possibile, facendo delle misure, migliorare e rendere utile un processo che, se condotto in modo approssimativo, risulta essere dispendioso e pericoloso. Affianco a questo c'è una spinta a fare la raccolta differenziata, che per molti adolescenti è prerogativa esclusiva dei genitori (spesso di uno solo).

Credo che questi aspetti positivi compensino largamente il fatto che le misure eseguite non siano perfettamente riproducibili e che forniscono solo delle informazioni "di massima". Sicuramente i cultori delle esperienze "semplici e pulite" rabbrivideranno al solo pensiero, ma, a distanza di 5 anni dalla prima volta in cui l'abbiamo fat-

ta, molti ex studenti ricordano questa esperienza come quella più interessante (o come la meno "sterile").

Bibliografia

[1] Bagatti, F.; Corradi, E.; Desco, A.; Ropa, C., *Chimica*, Zanichelli, 291

[2] Elifani, La prevenzione incendi nella piccola e media industria - III Ed., E.P.C (Roma) Appendice XXI, 226

LABORATORIO E DINTORNI

ESPERIMENTI RELATIVI AI FULLERENI

Riassunto

In questo articolo vengono proposti due esperimenti relativi ai fullereni. Il primo riguarda le proprietà fisiche e chimiche di C_{60} mentre il secondo è relativo alla cromatografia su strato sottile della miscela di C_{60} e C_{70} .

Entrambi gli esperimenti hanno lo scopo di introdurre, su basi sperimentali, l'argomento attuale dei fullereni in qualsiasi scuola superiore in cui viene insegnata anche Chimica.

Introduzione

Attualmente in quasi tutti i testi di chimica generale, a livello di scuola media superiore, viene fatto almeno qualche cenno riguardo ai fullereni. Infatti ormai, a prescindere dall'importanza teorica e pratica di tale sostanza, non si può non ricordare agli allievi che le forme allotropiche del carbonio non sono soltanto il diamante e la grafite.

E certamente non mancano riferimenti bibliografici a livello divulgativo e spunti didattici per stimolare la curiosità e l'interesse degli studenti ad approfondire le nozioni teoriche riguardanti tali aggregati molecolari. A tale proposito, siccome l'indagine e le applicazioni relative ai fullereni ed ai nanotubi sono in continuo sviluppo, per aggiornarsi su tali argo-

ROBERTO SOLDÀ^(*)
LIVIA MERCATO^(*)

menti si ritiene molto interessante la ricerca su internet.

Comunque chi desiderasse anche introdurre *sperimentalmente* l'argomento dei fullereni, si troverebbe nella necessità di dover scartare gli esperimenti relativi alla preparazione del C_{60} [1-2] in quanto non sono realizzabili in scuole non particolarmente attrezzate.

E dovrebbe inoltre ripiegare su esperimenti in scala ridotta, dati gli alti costi del C_{60} e della miscela di C_{60} e C_{70} .

Però con quantità di 10 mg (confezioni da 5, 10 o 25 mg sono reperibili presso i rivenditori di reagenti chimici) si possono effettuare degli esperimenti interessanti come quelli proposti nel Journal of Chemical Education [3] od altri analoghi.

In questo articolo si propongono un esperimento relativo al C_{60} ed uno relativo alla miscela di C_{60} e C_{70} e, come detto precedentemente, non ci si vuole addentrare in argomenti teorici; comunque si ritiene opportuno premettere alcuni concetti attinenti alla struttura del buckminsterfullerene.

Infatti si è notato che nei testi di chimica di base che trattano anche il C_{60} , non si fa cenno di tali aspetti ritenendoli forse superflui o di difficile trattazione a livello di chimica di base.

Invece si è constatato che tali nozio-

ni sono abbastanza comprensibili e possono risultare didatticamente utili per fornire agli allievi la " chiave logica " della particolare forma sferica del C_{60} .

Cenni teorici

Per fare comprendere agli studenti la motivazione della particolare struttura sferica di C_{60} è utile richiamare la struttura a strati del reticolo bidimensionale della grafite e fare notare che, nell'ambito di ogni strato, esiste una differenza fra gli atomi di C appartenenti a più di un anello esagonale (contraddistinti ad esempio con C_A) e quelli appartenenti ad un solo anello esagonale (contraddistinti con C_B). Infatti, nella rappresentazione di Kekulé, ogni atomo di C_A è legato ad altri tre atomi di C con un legame doppio e due semplici, mentre ogni atomo di C_B è legato a due soli atomi di C con un legame doppio e uno semplice.

Ciò implica che gli atomi di C_A sono stabili, mentre quelli C_B sono instabili; tuttavia, essendo la grafite un solido macromolecolare, gli atomi C_B sono pochissimi rispetto a quelli C_A e quindi essa è stabile.

Non avverrebbe così invece se il numero totale di atomi di C fosse limitato come succede ad esempio per C_{60} . Affinchè tale molecola od altre con un numero limitato di atomi di C siano stabili è necessario che tutti gli atomi di C siano di tipo C_A . Ora tale condizione viene soddisfatta da una struttura tridimensionale chiusa ma

170 (*) IPSIA "G. Ceconi",
Via Manzoni 6, Udine
e-mail: roberto.solda@libero.it

con superficie a forma tondeggiante perché si può fare notare ai ragazzi che, secondo la teoria VSEPR, gli angoli di legame devono essere vicini ai 120° e quindi, per esempio, una struttura a forma cubica con angoli di 90° non sarebbe appropriata.

A questo punto si può dire che si può dimostrare che una tale superficie può realizzarsi se, a prescindere dal numero di anelli esagonali, ci sono dodici anelli pentagonali.

Quindi si può concludere dicendo che, in particolare, il C₆₀ è formato da venti esagoni e dodici pentagoni disposti in modo che ogni pentagono è circondato da cinque esagoni, proprio come in “un pallone da calcio” ed anzi, proprio assumendo come riferimento un pallone da calcio, si può proporre la costruzione del modello molecolare del footballene.

È da notare che, con questa trattazione elementare impostata sul collegamento della struttura dei fullereni con quella della grafite, gli allievi recepiscono facilmente anche il motivo per cui i metodi di preparazione del C₆₀ e dei nanotubi sfruttano come reagenti di base la grafite o idrocarburi aromatici, quali benzene, naftalene, ecc. . Inoltre, ricordando agli studenti che il nerofumo ai raggi X presenta particelle con una struttura simile a quella della grafite, diventa a loro comprensibile anche la scoperta recente e quasi inverosimile che qualsiasi fiamma che produce nerofumo (come per esempio quella di una candela) può essere sfruttata per ottenere C₆₀ [4].

1° ESPERIMENTO

Proprietà fisiche e chimiche di C₆₀

Prima parte

Questa fase potrebbe inserirsi, senza difficoltà, nell'esperimento relativo alle prove di miscibilità, solubilità e conducibilità che di solito viene proposto nei corsi di laboratorio di chimica di base per permettere agli studenti di elaborare semplici modelli sulla struttura microscopica della materia, sulle forze tra le particelle ed introdurre lo studio del legame chimico.

Infatti anche qui l'obiettivo è di raccogliere informazioni sul comportamento macroscopico di C₆₀, mediante prove di solubilità in solventi polari ed apolari e, tramite esse, formulare ipotesi sulla sua struttura.

In ogni caso, allo scopo di evitare che gli allievi siano indotti a dedurre le

proprietà basandosi sulla formula bruta e di struttura, queste si forniscono alla fine dell'attività di laboratorio ed al momento della discussione finale.

Basandosi sulle osservazioni gli allievi giungono ad ipotizzare che il fullerene, essendo solubile in solventi apolari, deve essere costituito da un aggregato di molecole apolari legate dalle forze di van der Waals ed ogni molecola, se è poliatomico, deve essere formata da atomi legati con legame covalente.

Nella discussione e nel commento, oltre a quanto detto precedentemente, se lo si ritiene opportuno, si può fare osservare che le molecole di fullerene, essendo sferiche come quelle dei gas nobili, si “impacchettano” in un reticolo cubico a facce centrate. Ed inoltre, collegandosi al modello della struttura dei solidi molecolari ed alla generalizzazione dell'aumento della temperatura di fusione e di ebollizione con l'aumento delle dimensioni delle molecole, si può spiegare che C₆₀ è solido fino a circa 800 K e dopo sublima.

Per quanto riguarda gli strumenti ed il procedimento di lavoro si ritiene superflua ogni delucidazione perché l'esperimento relativo alla solubilità ed al legame chimico, come detto sopra, è riportato in quasi tutti i testi di chimica di base.

Per limitare al minimo indispensabile il consumo di C₆₀ è comunque consigliabile fare effettuare non ai singoli allievi ma a gruppi di allievi i saggi di solubilità e raccomandare l'uso di pochi cristallini di C₆₀ per ogni saggio di solubilità.

Seconda parte

Per approfondire che il C₆₀, pur essendo una sostanza inorganica, manifesta anche reazioni tipiche della chimica organica, si può inserire questa parte in un altro esperimento proposto in quasi tutti i testi di chimica di base e cioè: le reazioni degli idrocarburi con Br₂ e con KMnO₄.

A questo proposito relativamente al fullerene, per i soliti motivi ma soprattutto come cautela per la protezione della salute degli studenti, è consigliabile evitare il test con il bromo ed usare il test con KMnO₄ seguendo uno dei due procedimenti seguenti a seconda che si operi in ambiente basico o acido [3].

A) Un mL di soluzione di KMnO₄ (0,01% in 10% Na₂CO₃) si aggiunge

ad 1 mL di soluzione di C₆₀ in toluene (0,3 mg/mL). La miscela viene agitata per 3-5 minuti. La fase acquosa inferiore cambia il suo colore da violetto a giallo-bruno e si forma un precipitato bruno di MnO₂ e di fulleroli insolubili.

B) Un mL di soluzione di KMnO₄ (0,01% in H₂SO₄ 0,1M) si aggiunge ad 1 mL di soluzione di C₆₀ in toluene (0,3 mg/mL). La miscela viene agitata per 1-2 minuti. La fase acquosa inferiore cambia il suo colore da violetto ad incolore. I fulleroli sono solubili in ambiente acido.

Note conclusive rispetto al 1° esperimento

Il fatto che il fullerene, pur avendo una struttura apparentemente simile a quella degli idrocarburi aromatici, non si comporta come questi ultimi bensì come gli alcheni, non susciterà perplessità negli allievi e non porrà difficoltà se nella discussione si sarà opportunamente messa in risalto la differenza fra la struttura planare degli idrocarburi aromatici e quella non planare del fullerene ponendo l'accento sui dati sperimentali.

Infatti, anche in un corso elementare senza fare ricorso al modello orbitalico e a considerazioni di inibizione sterica della risonanza, si possono proporre alcune affermazioni basate su evidenze sperimentali.

Per esempio, prendendo come riferimento il benzene, si può dire che i doppi legami nella sua struttura formale sono soltanto virtuali in quanto tutti i legami C-C sono equivalenti e non sono né semplici né doppi perché è stato accertato sperimentalmente che hanno una lunghezza intermedia fra quella di un legame semplice e quella di un legame doppio.

Invece nel fullerene, a causa della non planarità, i legami C-C non sono di uguale lunghezza poiché quelli in comune agli anelli esagonali contigui si possono considerare “legami doppi” essendo più corti di quelli in comune agli anelli esagonali e pentagonali [5]. Infine la proposta di svolgere l'esperimento in due parti distinte è solo indicativa; qualora sembri più adatto al proprio itinerario didattico, lo si può effettuare anche come a sé stante.

Rimane da dire che in scuole ad indirizzo chimico e fornite di reagenti organici, si può ulteriormente approfondire con altri esperimenti interessanti [3] che il fullerene funziona non solo da donatore ma anche da accettore di

elettroni.

Questi esperimenti potrebbero non solo illustrare ulteriormente il collegamento della chimica inorganica con quella organica, bensì fare meglio comprendere l'applicazione più importante del fullerene e dei suoi derivati che è certamente quella relativa al campo dell'elettronica.

Infatti sperimentalmente verrebbe sottolineato che il carbonio, in questo caso sotto forma di fullerene, è un elemento molto più elettronegativo dei metalli (ha elettronegatività 2,5 come lo iodio) e come tale reagisce abbastanza facilmente con i metalli alcalini poco elettronegativi, consentendo di ottenere dei composti particolari, detti buckminsterfulleruri di formula A_xC_{60} ($A=K, Rb, Li; x=3, 4, 6$) ed alcuni di questi, oltre che essere buoni conduttori a temperatura ambiente, sono superconduttori a bassa temperatura.

2° ESPERIMENTO

Cromatografia su strato sottile della miscela di C_{60} e C_{70}

Già da altri Autori è stato sottolineato che gli esperimenti di cromatografia affascinano i ragazzi e rappresentano senz'altro uno strumento valido per avvicinarli alla chimica.

D'altra parte parecchi anni fa la tecnica della cromatografia su strato sottile è stata proposta per l'identificazione di sostanze ad azione farmacologica non solo per la Scuola media superiore ma anche per la Scuola media dell'obbligo [6-7].

In questo articolo tale tecnica viene invece proposta per la separazione di C_{60} e C_{70} in una loro miscela.

Per suscitare la curiosità e "motivare" i ragazzi è consigliabile introdurre l'esperimento accennando alla scoperta del fullerene, alla difficoltà iniziale di reperire un metodo per produrne quantità relativamente grandi ed alla separazione di C_{60} dagli altri fullereni mediante cromatografia su colonna.

Materiali occorrenti

Lastrine di gel di silice, cm 10 x 5.
Becker o vasi di vetro di dimensioni idonee a contenere le lastrine con coperchi a tenuta.

Capillari per la "semina"

Soluzione di C_{60} e C_{70} in toluene (A).

Eluente: Toluene / n-esano (1:2) (B).

Nota : per evitare sprechi di sostanza e per motivi di cautela è opportuno che la soluzione (A) e l'eluente (B) siano preparati dall'insegnante tecnico-pratico.

Phon per asciugare le "macchie".

"Camera a iodio" per la rivelazione delle "macchie".

Alcune note relative alla tecnica TLC e alle modalità operative

Per le nozioni di base relative alla tecnica impiegata, si possono fornire quelle ritenute più consone al proprio itinerario didattico.

E, per quanto riguarda il procedimento non ci sono particolari indicazioni operative rispetto a quelle consuete descritte in parecchi testi.

Comunque, come noto, il metodo di visualizzazione delle "macchie" dipende dal tipo di lastrine e dall'attrezzatura disponibile.

Se le lastrine non contengono un indicatore fluorescente, può essere usato come rivelatore lo iodio posto

in un contenitore chiuso.

Disponendo invece di lastrine con indicatore fluorescente, la rivelazione delle "macchie" viene effettuata mediante lampada UV.

È ovvio poi che, potendo, sarebbe interessante esaminare le variabili che influenzano la separazione cromatografica, prendendo in considerazione le relazioni fra struttura e polarità dei solventi, ecc. e "fare scoprire" agli allievi la miscela eluente più idonea a tale separazione.

Con la miscela eluente proposta gli R_f risultanti sono i seguenti :

$$R_f \text{ di } C_{60} = 0,85$$

$$R_f \text{ di } C_{70} = 0,15$$

ed il tempo necessario per lo sviluppo cromatografico è circa 15 minuti.

Ringraziamenti

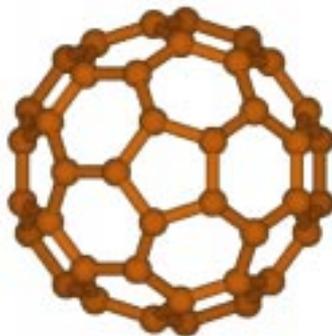
Si ringraziano per la collaborazione i Periti Tecnici :

Sig. Bartolomeo Di Lorenzo, Sig. Raffaele Adornato e Sig. Pietro De Rosa.

Si ringrazia inoltre per i preziosi suggerimenti il Prof. Paolo Mirone.

Bibliografia

- [1] D.W.Iacoe, W.T. Potter, D.Teeters, *J. Chem. Educ.*, **69**, 663, (1992)
- [2] N.C. Craig, G. C. Gee, A.R. Johnson, *J.Chem.Educ.*, **69**, 664, (1992)
- [3] A. Hildebrand, U. Hilgers, R. Blume, D. Wiechoczek, *J. Chem. Educ.*, **73**, 1066, (1996)
- [4] R. F. Curl, R. E. Smalley, *Le Scienze*, **280**, 24, (1991)
- [5] <http://www.ch.ic.ac.uk/motm/c60.html>
- [6] D. Perugini, R. Cervellati, *CnS- La Chimica nella Scuola*, **5-6**, 60, (1983)
- [7] D. Perugini, R. Cervellati, *CnS- La Chimica nella Scuola*, **1**, 8, (1984)



Riflessioni sul rapporto tra psicologia dell'educazione e insegnamento

Oggi ho deciso di abbandonare i toni improntati alla leggerezza.

Desidero approfondire una questione più volte accennata in questa sede che a mio avviso sta al centro della nostra professione ossia il rapporto tra psicologia dell'educazione e insegnamento.

Questo tema risulta ostico agli insegnanti tanto che la maggioranza di loro istintivamente evita di affrontarlo, preferendo affidarsi ad una tradizione didattica consolidata.

Sulla base dell'esperienza maturata con l'insegnamento nella SSIS ed alla luce di quanto ci suggerisce Ausubel in "Educazione e processi cognitivi", mi domando se la psicologia dell'educazione sia parte essenziale nella preparazione degli insegnanti e se la conoscenza di una disciplina sia sufficiente a garantire un insegnamento adeguato, inoltre mi chiedo se insegnanti si nasce o si diventa ossia se l'insegnamento sia un'arte o una scienza.

Personalmente ed esclusivamente sulla base del buon senso sono convinto che l'attitudine non guasta ma che un certo tipo di formazione sia indispensabile.

Di conseguenza, proseguendo nel mio ragionamento, mi chiedo in quale modo i principi della psicologia trovino posto nella pratica educativa, quando e come sia utile una distinzione tra teorie dell'apprendimento e teorie dell'insegnamento e infine se sia utile coniugare le due cose tra loro oltre che con la prassi didattica.

Passando sul versante disciplinare mi chiedo se sotto il profilo didattico esistano insegnamenti qualitativamente diversi o se tutti si fondano sugli stessi principi.

Se per ipotesi si fondano tutti sugli stessi principi ma esibiscono ognuno le sue peculiarità, sarà comunque necessario caratterizzare ogni tipo di insegnamento e determinare i fattori che lo influenzano.

Tutte queste conoscenze dovranno essere organizzate ed indirizzate agli insegnanti.

Tuttavia solamente in presenza di sensibilità all'argomento, d'impegno, d'interesse e di motivazione, sarà produttivo procedere all'aggiornamento sui metodi di insegnamento, sulle conoscenze relative allo sviluppo cognitivo degli allievi, sui fondamenti psicologici dell'insegnamento e dell'apprendimento.

stituisca una ricchezza ma oltre certi limiti la diversità diventa ingestibile. Ausubel da parte sua suggerisce di non utilizzare le eventuali regole che possono scaturire da ricerca applicata, queste regole risultano troppo rigide e localizzate, viceversa sarà utile rifarsi ogni volta ai principi generali che sono più flessibili cioè applicabili ai casi più diversi.

In altre parole di fronte alle novità della situazione didattica dobbiamo evitare frustranti tentativi alla cieca, dobbiamo farci guidare dai principi generali scaturiti dalla ricerca di base, cercando di essere selettivi nel scegliere nuove metodologie.

I principi generali sull'apprendimento non si traducono automaticamente in modalità di intervento, per meglio essere applicati richiedono ovviamente una mediazione in quanto ciò che scaturisce dai principi generali sono le direttive lungo le quali

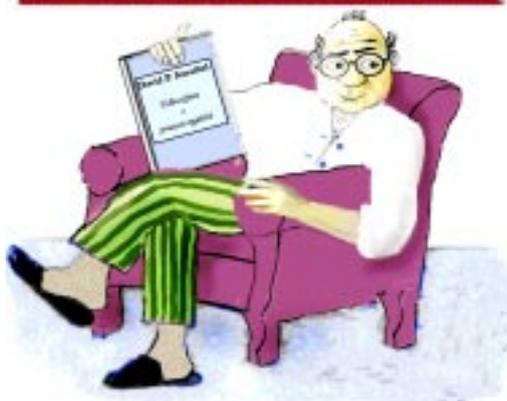
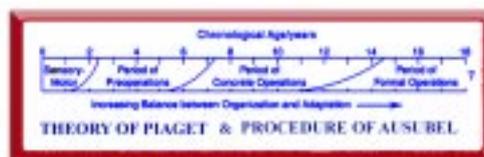
sviluppare l'attività.

Riassumendo i principi psicologici che regolano l'apprendimento si traducono in principi generali dell'insegnamento e questi a loro volta in prassi didattica; può succedere che al termine di questi passaggi i principi generali non siano sempre e immediatamente riconoscibili.

Un esempio classico di tutto ciò ci viene dai tentativi di applicazione delle teorie piagetiane all'insegnamento scientifico.

Piaget ci avverte che la maturazione della mente non è processo puramente sommativo dove alle abilità operative già acquisite se ne aggiungono delle nuove con una progressione graduale e continua.

Egli ci dice che le operazioni mentali ad un certo punto fanno un salto di qualità per cui si passa da capacità operatorie di tipo concreto a capacità



A loro volta gli insegnanti per applicare quanto appreso non hanno molte possibilità o rinverdiscono la tradizione educativa innestando sul vecchio tronco i nuovi criteri acquisiti o tentano una più radicale sperimentazione. Per fare ciò dovranno tenere presente che la prassi didattica è soggetta a forti condizionamenti ambientali, quei condizionamenti che la ricerca educativa di Piaget in prima istanza ha cercato di mettere sotto vetro e di cui viceversa Vygotskij si è fatto carico, individuando un più ampio ambito formativo dove il linguaggio gioca un ruolo fondamentale.

In ogni caso si deve tenere conto delle difficoltà che si incontrano in ambito scolastico a causa delle disomogeneità della classe legate a diverse attitudini, a diverse capacità e motivazioni, alla diversa estrazione sociale. È molto ideologico dire che la diversità co-

operatorie di tipo formale; la maturazione comporta cioè un cambiamento di orizzonte, il soggetto impara a guardare il mondo con occhi nuovi.

Questo cambiamento ovviamente non è istantaneo, richiede i suoi tempi, varia da soggetto a soggetto, non si verificherà contemporaneamente in tutte le discipline e neppure in tutti gli argomenti della stessa disciplina (decalage orizzontale); la stessa età di riferimento per il cambiamento data da Piaget (quattordici anni, nelle condizioni in cui lui ed i suoi collaboratori hanno operato) è soggetta a grandi

variazioni (decalage verticale), ma il principio resta e ignorarlo sarebbe un errore.

In questo modo abbiamo formulato parte dei principi psicologici che regolano l'apprendimento.

Un insegnante avveduto, specialmente se di scuola media si preoccupa di mettere sotto controllo con vari mezzi lo stato di maturazione mentale dei suoi studenti e la disomogeneità della classe.

Avere coscienza di questi processi ed entro certi limiti quantificarli lo porta a formulare i principi generali del suo insegnamento.

Successivamente passerà ad organizzare il suo lavoro suddividendo ad esempio la classe in gruppi secondo criteri da lui scelti ma che tengono conto del problema suddetto. Quindi inizierà la sua azione collocandosi in quella che Vygotskij chiama Zona di Sviluppo Prossimale, ad esempio all'interfaccia tra attività operatorie concrete ed attività operatorie formali, con l'intento di stimolare lo sviluppo. Figurativamente aiuterà l'allievo ad arrampicarsi, stando un passo avanti a lui e porgendogli amichevolmente la mano. Così facendo egli attua la prassi didattica.



Lev Semenovich Vygotsky



Jean Piaget

L'ORDINE E LA CONFUSIONE. UN APPROFONDIMENTO SULLE DIRECTORIES

FRANCESCA TURCO*

Ho deciso di interrompere il percorso sui sistemi di ricerca descritto nella prima puntata di questa rubrica per fare un passo indietro. Ho recentemente approfondito, insieme a due colleghi,¹ l'analisi delle directories già presentata su queste pagine² e mi pare che i risultati emersi meritino di essere riproposti su CnS. Lo studio consiste in un'analisi critica dei cataloghi, limitata a quelli che catalogano (anche o solo) siti in lingua italiana. L'analisi è stata intrecciata ad uno studio degli accessi al sito www.minerva.unito.it, curato dalla Divisione di Didattica, per valutare anche quali siano le esigenze degli utenti della rete riguardo alla chimica e fare un confronto con l'offerta dei cataloghi.

Analisi critica dei cataloghi (offerta)

Come sempre quando si decide di effettuare una classificazione le difficoltà emergono dalla pretesa di costringere in categorie rigide un materiale plastico e continuo (nel senso di non discreto): dopo una mappatura iniziale dei sistemi di ricerca si è visto che quasi tutti i motori possono funzionare anche da cataloghi e viceversa, anche se raramente il gestore possiede entrambe le tecnologie necessarie e generalmente per quella "secondaria" si appoggia a un servizio di ricerca esterno (questo punto cruciale sarà approfondito più avanti). Visto che quasi tutti i sistemi di ricerca offrono in realtà il doppio servizio sono stati esaminati, fra quelli presenti nella classifica dei più utilizzati riportata da un sito specializzato³, solo quelli che funzionano come catalogo all'apertura della home page, e quindi Libero, Virgilio, Msn, Yahoo.it e 100links, che è il funzionamento come catalogo di

Supereva. A questi ne abbiamo aggiunto uno che non risulta nell'elenco: Open Directory Project (ODP)⁴, in seguito a due considerazioni. Innanzi tutto perché, come già riportato in una delle precedenti puntate, il suo sistema di selezione e recensione dei siti non è affidato come per gli altri cataloghi ad uno staff di dipendenti dell'azienda, ma a volontari scelti fra gli utenti della rete e quindi esperti dell'argomento che trattano e sicuramente motivati. In secondo luogo ODP, celeberrima nei paesi anglofoni, è in realtà molto utilizzata anche in Italia, pur non comparando direttamente nella classifica dei siti più visitati, e anche se spesso i suoi stessi utenti non sanno di esserlo. Infatti numerosi servizi di ricerca di informazioni in rete si appoggiano ai dati di ODP quando vengono interrogati in modalità directory. Tralasciando i minori basta evidenziare che Google si comporta in questo modo per avere un'idea del numero di accessi indiretti ad ODP anche in Italia.

Dopo aver selezionato i cataloghi da interrogare abbiamo scelto le domande da rivolgere loro: un generico "chimica", più che altro per avere il numero totale di siti riguardanti la disciplina recensiti, "didattica chimica", "storia chimica" ed "epistemologia chimica", cioè gli argomenti portanti del sito Minerva, per avere un'idea di cosa sia presente su questi temi e per poter poi fare il confronto fra offerta e domanda; abbiamo infine inserito tre domande fra quelle digitate più di frequente dagli utenti di Minerva: "teoria atomica" (la più richiesta in luglio), "dizionario di chimica" (primo in classifica da quando è stato inserito nel sito) e "chimica industriale". I risultati sono piuttosto sconfortanti. Il dato più preoccupante è la scarsa pertinenza che i siti segnalati avevano in relazione alla domanda fatta,



disegno di **Kevin Pease**
sito <http://cerulean.st/tower/art12.htm>

cosa che con un catalogo non dovrebbe proprio succedere. Con scarsa pertinenza si intende che quei siti non soddisfano le esigenze dell'utente, nonostante contengano, com'è ovvio, i termini richiesti. Per fare un esempio: con "didattica chimica" (ma non solo) si ottengono per la maggior parte siti di dipartimenti universitari che, nella quasi totalità dei casi, si riducono ad un elenco di orari ed indirizzi. Limitandoci ad un cenno sulla triste situazione della nostra disciplina se, chi ne ha i mezzi e l'interesse, non spende una parola per dipingerla in una luce diversa da quella in cui la colloca l'immaginario comune, è evidente che il navigante interessato alla didattica non avrà trovato quello che cercava. Fa eccezione ODP, che va un po' meglio. Un altro risultato allarmante emerso dall'analisi delle risposte è l'evidenza che molte di queste erano in realtà presentate da motori. Abbiamo dedotto che quando la richiesta fatta a un catalogo è troppo specialistica per essere soddisfatta dai siti da lui recensiti viene "richiamato" un motore e ne vengono presentate le risposte. L'aspetto grave di questo gioco di specchi è che alcuni non lo segnalano, come ad esempio Arianna, ci si quindi trova davanti ad un sito non recensito senza saperlo⁵. Questo, insieme agli intricatissimi rapporti fra le aziende che forniscono sistemi di ricerca⁶, è il punto che crea la maggiore quota della confusione segnalata nel titolo. Questo caos mette in allarme anche per quel che riguarda la questione del potere connesso alla selezione e gestione di informazioni. Non sarà il caso della didattica chimica, ma per argomenti a rischio di censura o di creazione di opinioni di parte, di monopoli o di idee portanti una comunità, è fondamentale sape-

*Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata, Università di Torino. E-mail: francesca.turco@unito.it

re chi è che propone i dati.

Analisi statistica degli accessi a Minerva (domanda)

Da ripetuti controlli è emerso che la maggior parte degli utenti che giungono su Minerva è in cerca di informazioni molto specialistiche e molto circoscritte, esempi classici sono "cromatografia", "cortisone", "mendeleev", "edta", ecc. Una discreta quota (3-5 per mille) è invece in cerca di approfondimenti ("teoria atomica", "didattica della chimica"). È chiaro che la valutazione della domanda è viziata dai contenuti del nostro sito: non vediamo chi cerca termini che non compaiono in Minerva, ma l'impennata negli accessi a partire dal momento in cui è stato inserito il dizionario di chimica pare confermare le valutazioni precedenti: passare, nell'arco di due mesi, da una cinquantina di accessi al giorno agli oltre 250 attuali significa aver centrato le esigenze degli utenti.

Un altro dato interessante è la classifica degli accessi al sito in base al motore/catalogo utilizzato. Questa classifica non coincide per nulla con quella dei siti più visitati che ho citato all'inizio, in quella i cataloghi occupavano le prime tre posizioni e Google si trovava solamente al settimo posto, in questa Google è clamorosamente al primo posto (con oltre 400 accessi su mille, contro il centinaio di Virgilio in seconda posizione e le briciole divise fra gli altri), e i cataloghi sono nettamente minoritari. Questo mostra come, evidentemente, gli utenti dei vari sistemi di ricerca non siano tutti uguali. In particolare

sembra che gli utenti di Google siano le persone più interessate alla ricerca di informazioni specialistiche, mentre chi cerca i termini elencati nella tabella 1 si trova evidentemente benissimo con i vari Libero, Virgilio, ecc.

Tabella 1: Classifica dei termini più ricercati. Fonte: lycos.it.

1	Sesso
2	Foto
3	Gratis
4	Suonerie
5	Gay
6	Mp3
7	Chat
8	Dragon Ball
9	Download
10	Halloween

E allora?

I dati della nostra indagine sono senza dubbio piuttosto sconcertanti, ma con una piccola eccezione: ODP, che rappresenta, a nostro parere, l'unico argine attualmente opponibile al dilagare in rete di informazioni di pessima qualità. Quindi invitiamo tutti gli utenti del Web a provare a utilizzare per prima questa possibilità di ricerca, se qualcosa si trova generalmente è un sito di buona qualità. Sarebbe naturalmente auspicabile che il progetto fosse il più possibile conosciuto e coadiuvato, una possibilità è quella di suggerire agli studenti di diventare editori, magari per una delle categorie che possono interessare loro (musica, videogiochi). Questo nell'interesse non solo di ODP ma

degli studenti stessi: impegnarsi in una selezione di siti della rete è un'ottima palestra per la formazione di naviganti critici.

Note Bibliografiche

1 G. Casavecchia, E. Mostacci, F. Turco "L'ordine e la confusione. Un'analisi della ricerca in rete con le directories", P. Riani, a cura di, atti della *III Conferenza Nazionale sull'Insegnamento della Chimica*, Cagliari 24-26 ottobre 2002, in corso di stampa.

2 F. Turco "Cataloghi (Directories)", *Chimica nella Scuola*, **XXIV**, 3 (2002), pp.103-104.

3 http://www.motoridiricerca.it/classi_it.htm. L'ultimo accesso a tutti i siti segnalati in questo lavoro è stato effettuato il 20 ottobre 2002. La classifica è ora mutata, quella cui si fa riferimento risale al luglio 2002.

4 ODP si trova all'indirizzo <http://dmoz.org>.

5 A meno di avere l'occhio allenato a questa distinzione: una risposta derivante da un motore si riconosce perché le 2-3 righe che seguono la segnalazione dell'indirizzo, e che dovrebbero far inquadrare il contenuto del sito all'utente, sono frammenti presi dalla pagina Web segnalata, e non scritti in maniera organica come presentazione del sito.

6 Tabulati all'indirizzo <http://www.motoridiricerca.it/mappa-motori.htm>. Dalla tabella si vede anche che, come abbiamo detto all'inizio, quasi tutti i sistemi di ricerca funzionano in entrambe le modalità, ma solitamente sono proprietari solo di uno.

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

CnS-La Chimica nella Scuola si propone innanzitutto di essere un ausilio di ordine scientifico e professionale per i docenti della scuola. Essa si offre anche come luogo di confronto delle idee e delle esperienze fra docenti delle scuole di ogni ordine e grado e universitari, sono pertanto ben accetti quei contributi che:

- a) trattino e/o rivisitino temi scientifici importanti alla luce dei progressi sperimentali e teorici recenti;
- b) illustrino varie esperienze didattiche e di lavoro anche con il contributo attivo dei discenti;
- c) presentino proposte corrette ed efficaci su argomenti di difficile trattamento didattico;
- d) trattino innovazioni metodologiche, con particolare attenzione alle attività sperimentali nonché agli aspetti della valutazione.

Sono benvenute le lettere brevi che arricchiscano il dibattito o la riflessione sui temi della rivista. La rivista si articola in tre settori: divulgazione e aggiornamento, ricerca e rubriche.

Quest'ultimo settore comprende rubriche sia di informazioni sia scientifico-culturali: Giochi e Olimpiadi della Chimica e Ambiente ecc..

I testi devono essere inviati in triplice copia al direttore: Prof. Paolo Mirone, Dipartimento di Chimica, via Campi 183, 411 00 Modena, oppure direttamente alla Redazione di CnS, Dipartimento di Chimica "G.Ciamician", via Selmi 2, 40126 Bologna.

I testi di articoli di divulgazione e aggiornamento possono essere spediti direttamente, in triplice copia al responsabile del settore: Prof. Paolo Edgardo Todesco, Dipartimento di Chimica Organica, Facoltà di Chimica Industriale, viale Risorgimento 4, 40136 Bologna.

La redazione informerà il mittente dell'avvenuta ricezione del plico.

Gli articoli devono essere corredati di un riassunto esplicativo del contenuto in lingua italiana e in lingua inglese (massimo 600 battute, circa 10 righe). Chi avesse difficoltà a redigere il riassunto in inglese può inviarlo in italiano. Si suggerisce di strutturare gli articoli di ricerca secondo le consuetudini delle riviste scientifiche: introduzione, parte sperimentale, esposizione e discussione dei risultati ottenuti, conclusione.

Gli Autori dei lavori sono tenuti a non inviare ad altri organi di stampa testi il cui contenuto corrisponda del tutto o in parte a quelli inviati a CnS - La Chimica nella Scuola.

TESTI

I testi devono essere trasmessi in tre copie, complete di tabelle e figure. Devono essere composti con sistema "word processing" (i sistemi accettati sono elencati al termine di queste istruzioni) con interlinea doppia, su cartelle di 60 battute per 30 righe (1800 battute).

Gli Autori, all'atto dell'accettazione dovranno inviare il testo definitivo su dischetto, in formato 3" 1/2 ad alta densità.

In alternativa al dischetto il contributo può essere inviato alla redazione per via elettronica al seguente indirizzo:

fpcns@ciam.unibo.it

Gli articoli non devono superare di norma le 20 cartelle (comprensive di tabelle e formule) oltre la bibliografia.

In considerazione del limitato numero di pagine della rivista, qualora un articolo ecceda tale lunghezza la direzione si riserva di rifiutarlo o di chiederne un adeguamento accorciamento.

Le comunicazioni brevi devono essere limitate a 1200 parole, incluso lo spazio per eventuali tabelle.

Le lettere al direttore devono essere limitate, di norma, a 1200 parole e non possono contenere tabelle; per le stesse è prevista la pubblicazione entro un mese dall'accettazione.

La prima pagina del testo di un articolo deve contenere:

- il titolo, chiaramente esplicativo del contenuto del lavoro, che non deve superare le 50 battute (in caso contrario la redazione si riserva di modificarlo).

- Il nome (per esteso) e il cognome e l'istituzione di appartenenza di ciascun Autore.

I richiami bibliografici nel testo devono essere numerati progressivamente, con numeri arabi tra parentesi quadrate. La bibliografia va riportata in fondo al testo, nello stesso ordine, con le seguenti norme:
- lavori pubblicati su riviste: la bibliografia dev'essere essenziale e riportata solo se effettivamente consultata dall'Autore;

- libri, trattati, enciclopedie: iniziali e cognomi degli Autori seguiti da virgola, titolo dell'opera, con la sola prima iniziale maiuscola, segue la casa editrice, la sede principale di questa, l'anno di pubblicazione. Se la citazione fa riferimento ad una o poche pagine dell'opera, queste devono essere riportate in fondo alla citazione stessa;

- documenti senza Autore ma editi "a cura di": titolo dell'opera, seguito da "a cura di" tra parentesi tonde (se la bibliografia si riferisce ad un testo scritto in italiano) oppure da "Ed." tra parentesi tonde (se si riferisce a un testo in inglese); seguono la virgola e le altre indicazioni come sopra;
- le comunicazioni a congressi devono recare, nell'ordine: iniziali e cognomi degli Autori, seguiti dalla virgola, dall'indicazione del congresso nella lingua originale, luogo e data del medesimo, numero della comunicazione (o indicazione del numero della pagina iniziale se si citano gli Atti del congresso).

Riportiamo alcuni esempi:

1) W.M. Jones, C.L. Ennis, *J. Am Chem. Soc.*, 1969, **91**, 6391.

2) A.J. Bard, L.R. Faulkner, *Electrochemical methods, fundamentals and applications*, Wiley, New York, **1980**.

3) M. Arai, K. Tomooka, M. Nakata, M. Kimoshita, 49th National Meeting of Chemical Society of Japan, Tokio, **Apr. 1984**.

UNITA' DI MISURA, SIMBOLI E ABBREVIAZIONI

Le unità di misura devono essere quelle del S.I.

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

FORMULE CHIMICHE E FORMULE MATEMATICHE

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

FIGURE

Le figure al tratto (grafici, schemi di apparecchi, di processi ed impianti ecc.) devono essere forniti su lucido e devono essere omogenee tra loro dal punto di vista del carattere utilizzato e dei corpi tipografici. Le immagini la cui base non superi gli 84 mm o, in caso di immagini la cui riproducibilità necessiti di un formato maggiore, 178 mm.

Qualora gli Autori dispongano di disegni realizzati con sistemi computergrafici sono invitati ad allegarli al testo indicando chiaramente il sistema impiegato. Si sconsiglia l'invio di spettri (IR, UV MS, ecc.) e tracciati GC, se non assolutamente indispensabili per la comprensione del testo.

Qualora il formato di una figura vada ridotto, i caratteri delle eventuali iscrizioni dovranno avere dimensioni tali da essere chiaramente leggibili anche dopo la riduzione.

Le figure dovranno essere numerate e recare una didascalia esplicativa. Gli Autori devono indicare in margine al testo le posizioni dove inserire le singole figure.

TABELLE

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

SISTEMI DI WORD PROCESSING

I testi devono essere consegnati su dischetto scritti (o salvati) in formato Word per Windows 7.0 o versioni precedenti.

Le immagini in formato GIF, BMP, TIFF o WMF.

Le stesse specifiche valgono per l'invio mediante E-mail

Buon Natale

F elice Anno

Merry Christmas

Happy New Year

Joyeux Noel

Bonne Année

CnS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

GIORNALE DI DIDATTICA DELLA SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA

ANNO XXIV, 2002

REDAZIONE

PAOLO MIRONE, *Direttore responsabile*
PASQUALE FETTO, *Redattore*

COMITATO DI REDAZIONE

LIBERATO CARDELLINI, GIACOMO COSTA (Presidente della Divisione di Didattica della SCI),
PASQUALE FETTO, ERMANNO NICCOLI, RAFFAELE PENTIMALLI,
PIERLUIGI RIANI, PAOLO EDGARDO TODESCO

COMITATO SCIENTIFICO

LUCA BENEDETTI, ALDO BORSESE, CARLO Busetto,
RINALDO CERVELLATI, LUIGI CERRUTI, GIACOMO COSTA, FRANCO FRABBONI,
GIANNI MICHELON, EZIO ROLETTO, EUGENIO TORRACCA

INDICE ANNUALE

CⁿS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

ANNO XXIV, 2002

Gennaio-Febbraio	1 - 40
Marzo-Aprile	41 - 72
Maggio-Giugno	73 - 108
Settembre-Ottobre	109 - 144
Novembre-Dicembre	145 - 176

L'indice annuale di CnS-La Chimica nella Scuola si divide in due parti: l'indice per Autori e l'indice per Sezioni e Rubriche. Nell'indice per Autori è riportato sotto il nome del primo autore il titolo del lavoro, il fascicolo, la pagina e sono forniti i rinvii per gli altri autori dello stesso articolo. Il secondo indice riporta sotto il nome di ciascuna Sezione o Rubrica titolo, fascicolo, pagina e autore dei corrispondenti articoli.

INDICE PER AUTORI

A

Aimi Beatrice, Vittoria Stagni, Cervellati Rinaldo. Apprendimento cooperativo: applicazione ad un'unità didattica di elettrochimica. **4**, 126

Anastasia Mario. Risultati e classifiche della fase nazionale. **3**, 93

Anastasia Mario. 34^a Olimpiade: i risultati. **4**, 138

Aquilini Eleonora, Carasso Fausta Mozzi. Il ruolo dell'insegnamento scientifico nella scuola **1**, 28

Aquilini Eleonora. I bambini e le comunicazioni scientifiche. **5**, 162

Araldo Piero. Le peripezie di un costruttivista novizio in un universo trasmissivo. **1**, 18

B

Bent A. Henry, Bent E. Brian. Chimica descrittiva. **3**, 75

Bent E. Brian, - vedi **Bent A. Henry**

Barabotti Paolo, Marcolini Luigi. Il computer... bilancia le reazioni chimiche. **3**, 88

C

Carasso Fausta Mozzi, - vedi **Aquilini Eleonora**

Carasso Fausta Mozzi, Carpignano Rosarina, Pera Tiziano, Fetto Pasquale, Gori Silvio, Riani Pierluigi. Prospettive di lavoro nell'ambito della Divisione per l'innovazione didattica. Il Progetto Trieste. **3**, 91

Cardellini Liberato. Una intervista a Alex H. Johnstone. **2**, 57

Cardellini Liberato. "Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science". di Michael R. Mathewes. **3**, 104, - *Recensione*

Cardellini Liberato. Intervista a Hans-Jurggen Schmidt. **4**, 134

Cardinali Mario E. - vedi **Giomini Claudio**

Carpignano Rosarina, - vedi **Carasso Fausta Mozzi**

Casarini Antonella, Cazzato M. Grazia, Conti Marina, Esposito Sandra. Simulazione semiseria di un unceneritore per rifiuti. **5**, 166

Cazzato M. Grazia, - vedi **Casarini Antonella**

Ciardi Marco. Il ruolo della storia e dell'epistemologia nella costruzione del curriculum verticale. **3**, 79

Cerruti Luigi, - vedi **Turco Francesca**

Cerruti Luigi, - vedi **Turco Francesca**

Cervellati Rinaldo, - vedi **Honer Kerstin**

Cervellati Rinaldo, - vedi **Aimi Beatrice**

Conti Marina, - vedi **Casarini Antonella**

D

D'Auria Maurizio. L'evoluzione del pensiero nello studio delle reazioni di sostituzione elettrofila aromatica. **2**, 53

E

Esposito Sandra, - vedi **Casarini Antonella**

F

Fetto Pasquale. Il professore e l'autista: ovvero il gioco delle parti. **2**, 41 - *Editoriale*

Fetto Pasquale, - vedi **Niccoli Ermanno**

Fetto Pasquale, - vedi **Carasso Fausta Mozzi**

Fetto Pasquale. La precisione nella prassi di laboratorio. **3**, 100

G

Giomini Claudio, Marrosu Giancarlo, Cardinali Mario E. Spazi vuoti e pieni in reticoli di sfere a massima compattezza e in strutture correlate. **3**, 84

Gori Silvio - vedi **Carasso Fausta Mozzi**

H

Holman John. Tutto ciò che tutti dovrebbero sapere sulla chimica. **4**, 120

Honer Kerstin, Cervellati Rinaldo. Attività antiossidante di bevande - Esperimenti per le scuole secondarie superiori. **1**, 30

L

Linda Alberto - vedi **Soldà Roberto.**

M

Mammino Liliana. La teoria dei quattro elementi: un modello operativo di materia. **2**, 43

Massidda Maria Vittoria, Riani Pierluigi. Un'esperienza di formazione in rete: il Forum INDIRE. **4**, 123

Marcolini Luigi, - vedi **Barabotti Paolo**

Marrosu Giancarlo, - vedi **Giomini Claudio**

Mercato Livia - vedi **Soldà Roberto**

Minoli Marina. La scuola italiana: S.O.S. matematica e scienze. Uno studio dell'OCSE sottolinea le carenze dei nostri studenti. **1**, 16

Mirone Paolo. In difesa della "pedanteria". **4**, 109 - *Editoriale*

Musiani Andrea, - vedi **Marco Taddia**

N

Niccoli Ermanno. Un momento di grande difficoltà. **1**, 1 - *Editoriale*

Niccoli Ermanno. Le difficoltà d'insegnare, la libertà di non apprendere e le antinomie irrisolubili. **1**, 39

Niccoli Ermanno, Fetto Pasquale. Studio della formazione di sostanze insolubili. **2**, 61

Niccoli Ermanno. Il rigetto del cambiamento. **2**, 65

Niccoli Ermanno. Una narrazione affascinante. **3**, 101

Niccoli Ermanno. Dubbi e sconcerto di un aspirante costruttivista. **4**, 141

Niccoli Ermanno. Riflessioni sul rapporto tra psicologia dell'educazione e insegnamento. **5**, 173

P

Pentimalli Raffaele. C'è da preoccuparsi. **3**, 73 - *Editoriale*

Pera Tiziano, - vedi **Carasso Fausta Mozzi**

R

Riani Pierluigi. Divulgazione scientifica, storia e didattica: qualche riflessione sul caso della chimica. **1**, 12

Riani Pierluigi. Analisi dello sviluppo del concetto di trasformazione nel periodo della scuola dell'obbligo. **2**, 48

Riani Pierluigi - vedi **Carasso Fausta Mozzi**

Riani Pierluigi - vedi **Massidda Maria Vittoria**

Ruggeri Giacomo. Polimeri conduttori. **5**, 157

S

Vittoria Stagni, - vedi **Aimi Beatrice**

Soldà Roberto, Cervellati Rinaldo. Cinetica della solvolisi di alogenuri alchilici seguita come 'Clock reaction'. **1**, 26

Soldà Roberto, Mercato Livia. Esperimenti relativi ai fullereni. **5**, 170

T

Taddia Marco, Musiani Andrea. La chimica nei libri di testo del periodo napoleonico. L'esempio dei Cours di Jacotot con un parallelo italiano. **1**, 3

Taddia Marco "Il Malva di Perkin" Storia del colore che ha cambiato il mondo. di Simon Garfield, **3**, 96, - *Recensione*

Taddia Marco "La Chiave del Mondo" dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole. di Giovanni Villani, **4**, 125, *Recensione*

Turco Francesca. Primo passo: i motori di ricerca. **2**, 67

Turco Francesca. Cataloghi (Directories). **3**, 103

Turco Francesca, Cerruti Luigi. Osservazioni sul concetto di quantità di sostanza e sulla mole. **4**, 111

Turco Francesca. Contatti via e-mail. **4**, 143

Turco Francesca. L'ordine e la confusione. Un approfondimento sulle Directories. **5**, 175

Turco Francesca, Cerruti Luigi. Osservazioni sul concetto di quantità di sostanza e sulla mole. II parte. **5**, 147

Todesco Paolo Edgardo. A proposito delle SSIS. **5**, 145 - *Editoriale*

INDICE

PER SEZIONI E RUBRICHE

EDITORIALI

Un momento di grande difficoltà. **1**, 1 di **Ermanno Niccoli**
Il professore e l'autista: ovvero il gioco delle parti. **2**, 41 di **Pasquale Fetto**

C'è da preoccuparsi. **3**, 73 di **Raffaele Pentimalli**

In difesa della "pedanteria". **4**, 109 di **Paolo Mirone**

A proposito delle SSIS. **5**, 145 di **Paolo Edgardo Todesco**

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

La chimica nei libri di testo del periodo napoleonico. L'esempio dei Cours di Jacotot con un parallelo italiano.

1, 3 di **Marco Taddia, Andrea Musiani**

Divulgazione scientifica, storia e didattica: qualche riflessione sul caso della chimica. **1**, 12 di **Pierluigi Riani**

La scuola italiana: S.O.S. matematica e scienze. Uno studio dell'OCSE sottolinea le carenze dei nostri studenti. **1**, 16 di **Marina Minoli**

La teoria dei quattro elementi: un modello operativo di materia. **2**, 43 di **Liliana Mammino**

Chimica descrittiva. **3**, 75 di **A. Henry Bent, E. Brian Bent**

Il ruolo della storia e dell'epistemologia nella costruzione del curriculum verticale. **3**, 79 di **Marco Ciardi**

Spazi vuoti e pieni in reticoli di sfere a massima compattezza e in strutture correlate. **3**, 84 di **Claudio Giomini, Giancarlo Marrosu, Mario E. Cardinali**

Il computer... bilancia le reazioni chimiche. **3**, 88 di **Paolo Barabotti, Luigi Marcolini**

Osservazioni sul concetto di quantità di sostanza e sulla mole. **4**, 111 di **Francesca Turco, Luigi Cerruti**

Tutto ciò che tutti dovrebbero sapere sulla chimica. **4**, 120 di **John Holman**

Un'esperienza di formazione in rete: il Forum INDIRE. **4**, 123 di **Maria Vittoria Massidda, Pierluigi Riani**

Osservazioni sul concetto di quantità di sostanza e sulla mole. II parte. **5**, 147 di **Francesca Turco, Luigi Cerruti**

Polimeri conduttori. **5**, 157 di **Giacomo Ruggeri**

ESPERIENZE E RICERCHE

Le peripezie di un costruttivista novizio in un universo trasmissivo. **1**, 18 di **Piero Araldo**

Analisi dello sviluppo del concetto di trasformazione nel periodo della scuola dell'obbligo. **2**, 48 di **Pierluigi Riani**

L'evoluzione del pensiero nello studio delle reazioni di sostituzione elettrofila aromatica. **2**, 53 di **Maurizio D'Auria**

Apprendimento cooperativo: applicazione ad un'unità didattica di elettrochimica. **4**, 126 di **Beatrice Aimi, Stagni Vittoria, Rinaldo Cervellati**

HIGHLIGHTS

Una intervista a Alex H. Johnstone. **2**, 57 di **Liberato Cardellini**

Intervista a Hans-Jurggen Schmidt. **4**, 134 di **Liberato Cardellini**

COMUNICAZIONI BREVI

Il ruolo dell'insegnamento scientifico nella scuola **1**, 28 di **Eleonora Aquilini, Fausta Carasso Mozzi**

La precisione nella prassi di laboratorio. **3**, 100 di **Pasquale Fetto**

I bambini e le comunicazioni scientifiche. **5**, 162 di **Eleonora Aquilini**

LABORATORIO E DINTORNI

Attività antiossidante di bevande - Esperimenti per le scuole secondarie superiori. **1**, 30 di **Kerstin Honer, Rinaldo Cervellati**

Studio della formazione di sostanze insolubili. **2**, 61 di **Ermanno Niccoli, Pasquale Fetto**

Simulazione semiseria di un unceneritore per rifiuti. **5**, 166 di **Antonella Casarini, M. Grazia Cazzato, Marina Conti, Sandra Esposito**

Esperimenti relativi ai fullereni. **5**, 170 di **Roberto Soldà, Livia Mercato**

GIOCHI DELLA CHIMICA

Risultati e classifiche della fase nazionale. **3**, 93 di **Mario Anastasia**

34ª Olimpiade: i risultati. **4**, 138 di **Mario Anastasia**

UNO SGUARDO DALLA CATTEDRA

Le difficoltà d'insegnare, la libertà di non apprendere e le antinomie irrisolubili. **1**, 39 di **Ermanno Niccoli**

Il rigetto del cambiamento. **2**, 65 di **Ermanno Niccoli**

Una narrazione affascinante. **3**, 101 di **Ermanno Niccoli**

Dubbi e sconcerto di un aspirante costruttivista. **4**, 141 di **Ermanno Niccoli**

Riflessioni sul rapporto tra psicologia dell'educazione e insegnamento. **5**, 173 di **Ermanno Niccoli**

ACHILLE E LA TARTARUGA

Primo passo: i motori di ricerca. **2**, 67 di **Francesca Turco**

Cataloghi (Directories). **3**, 103 di **Francesca Turco**

Contatti via e-mail. **4**, 143 di **Francesca Turco**

L'ordine e la confusione. Un approfondimento sulle Directories. **5**, 175 di **Francesca Turco**

DALLA DIVISIONE

Prospettive di lavoro nell'ambito della Divisione per l'innovazione didattica. Il Progetto Trieste. **3**, 91 di **Fausta Mozzi Carasso, Rosarina Carpignano, Tiziano Pera, Pasquale Fetto, Silvio Gori, Pierluigi Riani**

RECENSIONI

"Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science". di Michael R. Matthews. **3**, 104, recensito da **Liberato Cardellini**

"Il Malva di Perkin" Storia del colore che ha cambiato il mondo. di Simon Garfield, **3**, 96, recensito da **Marco Taddia**

"La Chiave del Mondo" dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole. di Giovanni Villani, **4**, 125, recensito da **Marco Taddia**

ISTRUZIONE PER GLI AUTORI **5**, III cop