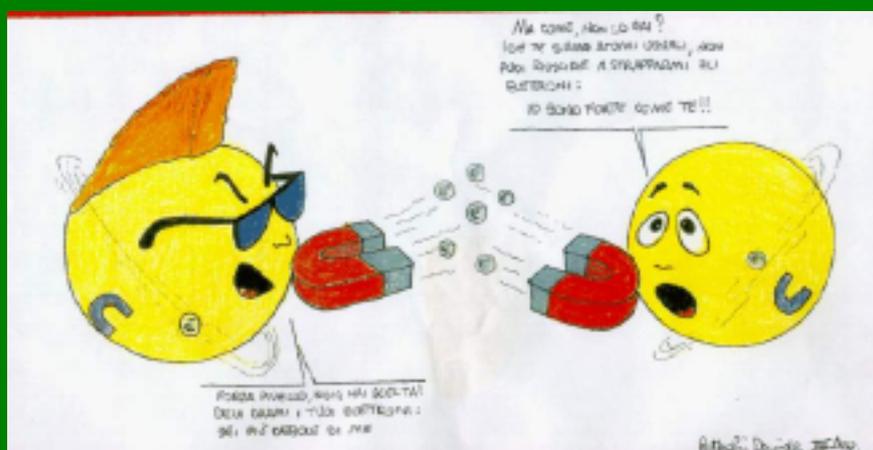


Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

<http://www.sci.uniba.it>
nuovo sito della Divisione
<http://www.didatticachimica-sci.it>

CNS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA



LE TRE PIAGHE DEI DOCUMENTI

MARIE CURIE
L'IMMAGINE
VIRTUALE

INQUINAMENTO
DA
NANOPOLVERI

XII CONGRESSO NAZIONALE
DELLA DIVISIONE
Trieste 2001



Anno XXIII
Marzo - Aprile 2001

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: fpncs@ciam.unibo.it

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

Documentazione Scientifica Editrice
Via Imerio, 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

Le tre piaghe dei documenti **37**
di *Paolo Mirone*

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Contrastare in classe le concezioni difformi
Un'iniziativa della Royal Society of Chemistry **39**

Marie Curie, nata Marya Sklodowska.
L'immagine virtuale - III parte **41**
di *Francesca Turco, Luigi Cerruti*

Inquinamento da nanopolveri **52**
di *Michele Santoro*

ESPERIENZE E RICERCHE

Degradazione della lignina con ossigeno singoletto **59**
di *Giovanni Bentivenga, Maurizio D'Auria*

Gli studenti fanno divulgazione - Dalla coltivazione dei cristalli a una mostra aperta al pubblico **64**
di *Michele Debegnach*

COMUNICAZIONI BREVI

Acido betulinico e sua importanza come antitumorale **70**
di *Ivano Morelli*

LABORATORIO E DINTORNI

L'elettrolisi e la chimica organica **72**
di *Roberto Soldà, Livia Mercato, Alberto Linda*

RUBRICHE

UNO SGUARDO DALLA CATTEDRA **75**
L'orientamento e il pifferaio
XII CONGRESSO NAZIONALE DELLA DIVISIONE **38**
CHIMICA E POESIE **40**
RECENSIONI **58**



In copertina disegno di **Davide Botteghi** III Asp
Liceo Artistico P. L. Nervi - Ravenna

LE TRE PIAGHE DEI DOCUMENTI

Ho letto in questi giorni il *Documento conclusivo* del Gruppo di lavoro per l'Aggregazione disciplinare scientifica^(*) della futura scuola settennale di base. Come mi succede regolarmente con documenti programmatici di questo tipo - non solo con quelli di argomento scolastico - la lettura è stata molto faticosa, tanto che più di una volta sono stato sul punto di addormentarmi. E arrivato alla fine mi sono chiesto, come avevo già fatto in precedenti occasioni, perché sembri fatale che tali documenti siano scritti in maniera così difficilmente leggibile.

Mentre cercavo di capirne le ragioni, mi è venuto in mente un episodio occorsomi circa trent'anni or sono. A quel tempo facevo parte dell'ANDU (Associazione Nazionale Docenti Universitari), e come responsabile della sezione di Modena avevo scritto e inviato al Ministro per la Pubblica Istruzione (allora non esisteva ancora il Ministero per l'Università e la Ricerca) una mozione a proposito di qualche provvedimento che si stava ventilando per l'Università. Pochi giorni dopo si riunì il consiglio direttivo dell'associazione, e in quell'occasione diversi colleghi si complimentarono, non senza mia sorpresa, per la chiarezza e l'incisività della mozione approvata dalla sezione di Modena. Non solo, ma nel corso della riunione venni incaricato, insieme a un autorevole collega, scienziato di vaglia nonché politicamente impegnato, di redigere sulla base della mozione il documento da sottoporre all'approvazione del consiglio direttivo.

Dopo due o tre ore di lavoro, della chiarezza e dell'incisività della mia mozione non restava più traccia. In compenso nella bozza del documento c'era tutto quello che si poteva dire sull'argomento e forse anche qualche cosa in più. Il ricordo di questo episodio mi ha fatto capire una delle ragioni della difficile leggibilità di cui parlavo all'inizio: la ricerca della *esaustività*, cioè la pretesa di non lasciare alcunché di non esplicitato. Pretesa che tra l'altro contribuisce non poco alla prolissità dei documenti. Nello stesso tempo, i documenti in questione sono quasi sempre affetti da una estrema *genericità*,

dovuta principalmente alla assoluta mancanza di esempi concreti. E' ben noto che un esempio opportunamente scelto può giovare alla comprensione di un concetto più di un lungo discorso. E' vero che per fare un esempio bisogna uscire dal generico, e questo può essere compromettente perché si troverà sempre qualcuno pronto a sostenere che gli esempi fatti non sono pertinenti o efficaci. Ma questa non è certo una buona ragione per mantenersi sul vago.

Per non essere io stesso accusato di genericità, indicherò un paio di passi del documento citato all'inizio che avrebbero potuto essere utilmente chiariti con un esempio (tengo a precisare che faccio riferimento a questo documento semplicemente perché è l'ultimo che ho avuto occasione di leggere, e non perché esso rappresenti un caso particolarmente deplorabile).

Nella prima pagina si legge che "La persona colta, per partecipare con consapevolezza ai processi sociali e culturali, non ha bisogno di un voluminoso bagaglio di informazioni, ma deve saper dominare fenomenologie complesse, che richiedono complesse modalità di comprensione e controllo...". Sarebbe stato necessario che gli autori avessero indicato, per far capire che cosa avevano in mente, almeno un caso di fenomenologia complessa e richiedente complesse modalità di comprensione e controllo senza tuttavia il bisogno di un voluminoso bagaglio di informazioni.

Fra le finalità formative dell'area scientifica (paragrafo 3) più d'una avrebbe avuto bisogno di essere chiarita con qualche esempio. Penso in particolare alla terzultima: "pensare 'per relazioni', individuando i modi, le strategie ed i comportamenti più adatti a padroneggiare la complessità dei sistemi e delle loro interazioni".

La terza - ma forse non l'ultima - piaga da cui sono affetti i documenti programmatici scolastici è l'*eccessiva ambizione degli obiettivi*. Mi resi conto per la prima volta di questa tendenza parecchi anni fa, in occasione di un incontro dedicato ai curricoli

di scienze per il biennio delle superiori. Al termine della presentazione del curriculum di chimica mi sfuggì il commento: L'unico obiettivo mancante è "Saper elaborare teorie scientifiche originali"! In seguito ho avuto occasione di constatare che si tratta di una tendenza piuttosto comune fra gli estensori di curriculum. Anche il documento in questione non vi sfugge, come mostrano le citazioni che seguono.

Fra i suggerimenti che concludono il paragrafo 2 (Condizioni e criteri per la costruzione del curriculum di scienze) si legge:

"Gli itinerari di lavoro sono caratterizzati da una sistematica produzione, discussione e documentazione di modelli sempre più complessi elaborati dai bambini e dai ragazzi sotto lo stimolo della mediazione adulta."

"La capacità di elaborare modelli personali e di sostenerli con argomentazioni adeguate permette di sviluppare sia il sapere individuale che quello socialmente condiviso nella classe..."

Fra le già citate finalità formative dell'area scientifica si trovano anche la capacità di "interpretare e progettare lo svolgersi di fenomeni più o meno semplici fondando le sue argomentazioni e le sue azioni su ampi repertori di dati di fatto..." e quella di "sviluppare schematizzazioni, modellizzazioni, formalizzazioni di fatti e fenomeni..."

I bambini e i ragazzi di oggi sono bombardati da una continua pioggia di informazioni provenienti da diverse fonti - in primo luogo la televisione - e per la massima parte sono privi di qualsiasi valido criterio per districarsi in mezzo a questa giungla. Chi di loro, per esempio, è in grado di discernere fra un oro-

scopo e una previsione fondata su dati scientifici (specialmente se è attorniato da adulti che prendono sul serio gli oroscopi)? E' inevitabile che la grande maggioranza dei bambini e dei ragazzi abbiano la mente piena di idee confuse. In questa situazione la principale finalità dell'insegnamento scientifico dovrebbe essere quella di aiutarli a mettere un po' di ordine nelle loro menti, almeno per quanto riguarda il campo dei fenomeni naturali. Mi sembra invece che l'accostamento alla complessità - che, a giudicare dalla frequenza con cui è citata, sembra stare molto a cuore degli estensori del presente documento - dovrebbe esser fatto con una certa cautela per evitare il rischio di confondere ancor di più le idee degli allievi.

Mi rendo conto che il modo in cui sono redatti i documenti programmatici si è ormai consolidato al punto di costituire un genere letterario ben definito e praticamente imm modificabile, almeno in tempi brevi. Ma mi permetto di avanzare un modesto suggerimento: perché non accompagnare ciascuno di questi documenti con un riassunto, non troppo breve ma senza pretese di esaustività (diciamo di una o due pagine), scritto avendo in mente il pubblico dei non "addetti ai lavori"? Sarebbe un servizio utile a questo pubblico, che potrebbe farsi un'idea dei contenuti essenziali delle proposte. E forse sarebbe anche un utile esercizio per gli estensori dei suddetti documenti.

(*) Coordinatori: V. Cogliati Dezza, R. Habel, C. Todaro; Moderatore: F. Rigola

XII Congresso Nazionale di Didattica Chimica

Trieste novembre 2001

CONTRASTARE IN CLASSE LE CONCEZIONI DIFFORMI

Un'iniziativa della Royal Society of Chemistry

Continua in questo numero la presentazione dei materiali preparati dal Dr. Keith S. Taber nell'ambito del progetto *Challenging misconceptions in the classroom* della Royal Society of Chemistry. Mentre i materiali presentati nel N. 1/2001, pag. 3-4 erano rivolti ai livelli scolastici corrispondenti alla nostra scuola media inferiore e al primo biennio delle superiori, quelli riassunti in questo numero sono rivolti al livello successivo al completamento dell'obbligo scolastico, che nel Regno Unito si conclude al sedicesimo anno di età.

Ricordo che l'indirizzo del Dr. Taber è:
**Science and Technology Group
University of London
Institute of Education
20 Bedford Way
London WC1H 0AL**

P. M.

Stabilità chimica (Chemical stability probe)

Questo esercizio, consistente di vari quesiti collegati, è diretto a far emergere le idee degli studenti su ciò che rende stabile una specie chimica chiedendo loro di confrontare tre determinate specie in termini di stabilità relativa. Sebbene sia alquanto 'artificiale', si è trovato che fornisce delle risposte interessanti e che può costituire la base di una utile discussione su ciò che si intende per 'stabilità' in chimica.

Stabilità e reattività (Stability & Reactivity)

E' simile al precedente, ma è progettato in modo di scoprire come gli studenti vedono la relazione fra le idee di 'stabilità' e di 'reattività' in chimica. Considera la nozione di stabilità in relazione alla formazione e alla neutralizzazione di ioni.

Reazione tra idrogeno e fluoro (Reaction of hydrogen and fluorine)

La domanda è molto semplice: date le equazioni in parole e in formule di una reazione e le figure delle specie (atomi e molecole) interessate, gli studenti devono spiegare perché la reazione avviene. Gli studenti del livello A (N.d.R.: successivo all'obbligo) che hanno già studiato la maggior parte della teoria *dovrebbero* essere in grado di dare una risposta corretta (però le prime risposte avute suggeriscono che ciò può *non* essere vero!).

La verità sull'energia di ionizzazione (The truth about ionisation energy diagnostic instrument)

Questo strumento diagnostico (già descritto in *School Science Review*) presenta 30 enunciati (alcuni dei quali basati su comuni concezioni difforme riguardanti le forze agenti nell'atomo, la stabilità chimica e la spiegazione degli andamenti delle energie di ionizzazione) che gli studenti devono giudicare veri o falsi.

Forza degli acidi (Acid strength)

Alcuni studenti sembrano avere difficoltà a distinguere fra un acido *forte* e un acido *concentrato* anche dopo che gli è stato presentato il concetto di forza degli acidi. Il nucleo di questo semplice esercizio qualitativo consiste in una serie di 4 disegni che rappresentano le particelle presenti in soluzioni acide differenti sia per concentrazione che per grado di dissociazione. Gli studenti devono descrivere la differenza fra un acido forte e un acido debole e fra un acido concentrato e un acido diluito, e spiegare come distinguerebbero un acido forte da un acido debole se potessero vederne le particelle costituenti.

Identificare il legame (Spot the bonding)

La ricerca suggerisce che alcuni studenti hanno difficoltà a riconoscere tipi di legame diversi dal covalente, ionico e metallico. Questo esercizio mira a verificare se gli studenti sono in grado di identificare vari tipi di legami, comprendenti forze di van der Waals, legame a idrogeno, interazioni solvente-soluto ecc., e rappresentati in una serie di diagrammi.

Interazioni (Interactions)

La ricerca suggerisce che certi studenti si chiedono quando le interazioni sono veri e propri legami chimici e quando sono 'semplici forze'. Questo esercizio è simile al precedente, ma gli studenti, oltre a identificare il tipo di legame, devono anche spiegarne la natura.

Confrontare l'atomo... (Comparing the atom)

L'analogia è una tattica usata comunemente dagli insegnanti di scienze, anche se esistono prove che certi studenti hanno bisogno di aiuto per imparare veramente dalle analogie. Questo esercizio considera la comune analogia che assimila l'atomo a un piccolissimo sistema solare. Gli studenti devono elencare somiglianze e differenze fra un atomo e un sistema solare (rappresentati da disegni). Prima però essi devono rispondere ad alcune domande sulle forze agenti nell'atomo e su quelle agenti nel sistema solare. Questo richiama l'attenzione dello studente su alcuni aspetti dell'analogia che vanno considerati e fornisce l'opportunità per far emergere concezioni alternative sull'atomo (o sul sistema solare!).

Roberto Soldà

IONICO LEGAME

*Vecchia cava
ormai interrata:
un ionico legame
d'antico sitibondo
arso canale.
Spente pupille
di pianura bruciata.
Gemme d'idrogeno
ovunque scova
l'ossigeno ruggente.*

DNA

*Non ibridate il DNA
frattale di firmamento
non spezzate eliche
ordinate d'azzurro:
dallo splendore d'onda
innestano gli scienziati
in complementari coppie
astratta struttura
follia filante della notte
che l'immagine materna
in specchio della vita adduce.
Non ibridate il DNA
sacra natura non ibridate
radici di luce inebriante...
vive sono creature
le origini ricercate
dei semi della vita
in profili di effigi
che scolpite scintillano
nei profondi fondali.*

Marie Curie, nata Marya Sklodowska. L'immagine virtuale – III parte

Riassunto

L'articolo fornisce una rassegna di siti su Marya Sklodowska presenti in Rete, per orientarne un eventuale uso didattico. Vengono esaminati ed applicati due possibili approcci critici per analizzare un sito della Rete: la valutazione e la recensione; è stato inoltre elaborato un metodo di valutazione specifico per le finalità didattiche e storiografiche della ricerca. La questione, fondamentale, dell'autorità è stata considerata nella prospettiva di diverse discipline conoscitive e nel nuovo - particolare-ambito di Internet. Infine viene fornita una panoramica sull'immagine che di Sklodowska emerge dalla Rete.

Abstract

A review of Internet sites on Marya Sklodowska is given, in order to steer a prospective educational use of Internet. Two possible critical approaches are proposed: valuation and recension; in particular, the authors work out a valuation grid for an educational and historiographical appraisal of the sites of interest. The fundamental question of authority is considered in a multidisciplinary perspective, and it is analysed in the novel, unique case of Internet. Lastly, the virtual image of Sklodowska is depicted, as it may be statistically found on Internet.

Innumerevoli volte la Rete, *alias* Internet, è stata descritta come una immane biblioteca virtuale. Il paragone è solo in parte centrato, per molti

FRANCESCA TURCO^(*)

LUIGI CERRUTI^(*)

motivi: i milioni di siti accessibili non hanno (e non possono avere!) un catalogo comune, i 'volumi' esposti sono in gran parte anonimi, e, fatto ancora più grave, non c'è ad accoglierci una gentile, colta ed efficiente bibliotecaria. D'altra parte i materiali disponibili, opportunamente vagliati, possono soddisfare le ambizioni di qualsiasi enciclopedista onnivoro. È perciò indispensabile che si inizi ad indagare le possibilità di un uso critico della Rete, in particolare nell'ambito didattico. Con questa nota concludiamo lo studio storiografico della figura di Marie Curie, vagliando la possibilità che il volto della grande scienziata sia ancora riconoscibile una volta che sia stato 'messo in Rete'. Per non affrontare il problema muniti solo dell'*esprit de finesse* che si presume abbiano gli storici, ci siamo impegnati su due linee di ricerca: la messa a punto di una griglia di valutazione storiografica dei siti (sezione 1), e l'applicazione della griglia stessa ai siti più rilevanti per l'immagine virtuale di Marie Curie (sezione 2). Ci è parso anche necessario approfondire il concetto di 'autorità', per i molteplici problemi che la Rete solleva da questo punto di vista (sezione 3)*.

1. Per un uso critico della Rete: analisi dei siti

1.1 Recensione, valutazione, decostruzione

Può essere opportuno distinguere almeno tre diversi livelli di analisi cri-

tica di un sito. In ordine crescente di complessità e di interesse linguistico possiamo parlare di recensione, valutazione, decostruzione. La *recensione* dei siti è quanto ci aspettiamo dalle riviste specializzate che dedicano una parte cospicua dello spazio editoriale per orientare i loro lettori nello spazio virtuale della Rete. Le recensioni sono divise per 'generi' (dal turismo alla pornografia), consistono in una descrizione dei contenuti che il Navigante si deve aspettare, più un cenno eventuale sulla grafica, la velocità e la facilità di navigazione. Il tutto contenuto in poche righe. Brevi recensioni, mirate, si trovano anche in Rete, nelle pagine che molti Autori dedicano ai *links* con altri siti. Talvolta queste pagine sono piuttosto utili, sia per iniziare una ricerca, sia per visitare 'luoghi' ricchi e inaspettati, così che la recensione sintetica, indirizzata al proprio pubblico è un servizio importante che ogni sito/rivista dovrebbe offrire.

La *valutazione* è completamente diversa, per struttura e finalità, dalla recensione. La recensione opera sul rapporto fra due soggettività, quella del recensore e quella - presunta - del lettore. La valutazione nutre l'ambizione di fornire un giudizio basato su criteri espliciti, argomentati, condivisibili, e quindi largamente intersoggettivi. I parametri presi in considerazione sono numerosi e i criteri di applicazione complessi; essi saranno considerati dettagliatamente fra poco. Per ora è sufficiente rilevare che per rendere praticabile una griglia di valutazione occorre ridurre di numero i parametri e semplificare le loro procedure di quantificazione, ne risulta perciò un orientamento analitico delle singole griglie di valutazio-

(*) Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata, c.so M. D'Azeglio, 48 Università di Torino
turco@ch.unito.it
lcerruti@ch.unito.it

* Le sezioni 1, 2 e 4 sono da attribuire a Francesca Turco; la sezione 3 è da attribuire a Luigi Cerruti.

ne che dipenderà di volta in volta dalle intenzioni della proposta (commerciale vs. accademica, ad esempio).

La *decostruzione* di un sito consiste in un processo che si può scandire in tre tempi successivi: 'smontare' il sito nelle sue componenti testuali, ipertestuali, iconografiche e funzionali; sottoporre separatamente ogni componente ad analisi linguistica, semeiotica e pragmatica; tornare al tutto (il sito in Rete!) e cercare di comprendere il senso della proposta editoriale. Nel processo di decostruzione non c'è nulla di esotico perché corrisponde - in successione più o meno invertita - a quanto viene realizzato nella progettazione e realizzazione di un sito. In realtà è difficile pensare che la redazione del sito abbia un atteggiamento così riflessivo come quello che abbiamo appena descritto. Tuttavia, al di là del lessico pomposo (linguistica, semeiotica, pragmatica, ...), i redattori/operatori seguono una linea costruttiva che parte dalle intenzioni editoriali (il senso della proposta), passa attraverso i principi di imitazione e di autorità¹ (che forniscono *gratis* gli esiti di un'analisi fatta - forse - *altrove*), ed infine è fortemente condizionata dai linguaggi della Rete (HTML, Java) che mettono a disposizione dell'operatore una certa particolare strumentazione tecnica. Il *software* e i *browsers* più diffusi completano il forte condizionamento dello stadio finale della costruzione vera e propria del sito, quello di 'mettere insieme' quei pezzi che il processo di decostruzione vorrebbe poi nuovamente separare.

È chiaro che i tre processi critici richiedono abilità diverse, e sono efficaci in ambiti differenti. Per scopi di comunicazione editoriale e di orientamento la recensione è lo strumento più adatto. La proposta, la discussione e l'impiego di una griglia valutativa trovano il loro impiego migliore nel contesto didattico. La decostruzione di un sito importante, di riferimento, appartiene decisamente alla ricerca sulla comunicazione ipertestuale. Nella presente nota abbiamo accentrato l'attenzione sulla valutazione; tuttavia nella sezione 2.2 abbiamo anche recensito tre siti 'modello', selezionati nel centinaio esaminato in dettaglio nel corso della ricerca.

1.2 Una griglia di valutazione

È piuttosto scontato che il luogo in cui è più facile trovare gli strumenti di analisi della Rete è la Rete stessa. Una

ricerca condotta con i soliti motori di ricerca (*Altavista*, in particolare) ci ha portato a conoscere una serie di proposte critiche, di diverso impegno, ma comunque indirizzate ad una valutazione critica dei siti per uso didattico. Quelle che ci sono parse più convincenti sono citate, con qualche dettaglio, nella sezione 3.3. L'elaborazione di questi suggerimenti, integrata da riflessioni personali e da idee maturate durante il presente lavoro, ha condotto alla stesura di un nostro proprio metodo di valutazione, finalizzato in particolare all'analisi della Rete come biblioteca virtuale di storia della scienza. Ci è parso opportuno limitare la nostra attenzione alle caratteristiche 'contenutistiche' dei siti presi in esame, tralasciando quelle pragmatiche (quali velocità di apertura delle pagine, facilità nel rintracciare l'informazione desiderata all'interno dell'ipertesto), connesse all'efficacia della comunicazione ma non strettamente legate alla tematica storiografica.

L'applicazione del metodo al materiale presente in Rete su Sklodowska ha generato, non senza qualche travaglio, la tabella 1. Di seguito sono esaminati tutti i parametri valutati, con la spiegazione dei criteri utilizzati per assegnare i diversi punteggi. Quest'analisi sarà corredata di alcune concise osservazioni che riassumono le difficoltà incontrate nel corso dell'opera, dovute all'immane compito di applicare una classificazione, rigida per sua natura, ad un materiale plastico e amorfo come gli innumerevoli siti dedicati ad un qualsiasi argomento.

Editore: La questione dell'editore è fondamentale, e nella nostra griglia di valutazione le abbiamo dedicato ben due parametri, questo e il successivo. Infatti, in base al tipo di istituzione che propone il sito, e che quindi si assume la responsabilità del contenuto, è immediato formarsi un pregiudizio (che spesso non si rivela corretto), oltre che sulla quantità, sulla qualità dei dati presenti, stabilire l'affidabilità delle informazioni riportate. È per questo motivo che la tabella 1 fornisce per prima cosa il nominativo dell'editore. Il nominativo, in Rete, solo occasionalmente è indicato in modo esplicito, a volte è presente sotto forma di copyright, e molto spesso abbiamo dovuto cercarlo nella *home page*, ma anche quest'operazione non si è rivelata scontata. Par-

tendo dalla pagina riguardante Sklodowska, segnalata da un motore di ricerca o da altri siti, non sempre è stato trovato il collegamento che permettesse di effettuare direttamente il passaggio, e si è dovuto ottenere il dato 'manualmente', eliminando le ultime parole dall'indirizzo particolare (la pagina su Sklodowska) per ottenere quello più generale (la *home page*).

Classificazione editore: spesso il nome dell'editore non è indicativo, non è immediato dedurre quale tipo di 'autorità' gestisca la pagina WEB, in particolar modo quando si tratti di istituzioni straniere. Si è quindi adottata una classificazione che permetta di determinarlo a colpo d'occhio. In ordine decrescente di supposta autorità abbiamo suddiviso i siti in Istituzionali (I), denominazione che include università, scuole, musei, ambasciate e ministeri; Societari (S), quali fondazioni o associazioni, che pur non avendo l'avallo, e i fondi, pubblici, sono considerati tenuti ad essere più competenti di quanto ci si possa attendere da Privati (P). Ultimi vengono i siti commerciali (\$), la cui finalità non è evidentemente condividere informazioni o promuovere un personaggio, ma vendere un prodotto. Anche questo parametro apparentemente semplice, ha creato delle difficoltà. Spesso si è dovuto effettuare un esame minuzioso, 'smontando' l'indirizzo (URL) come spiegato in precedenza; il materiale reperito al termine di questa indagine è risultato molto più articolato e complesso di quanto una semplice, brutale, suddivisione in pochi punti possa rendere conto in maniera efficace. Individuare i siti commerciali è immediato, qualche difficoltà si è avuta nel distinguere quelli societari dagli istituzionali (spesso il nome accertato per l'editore risulta enigmatico). Questi ultimi sono quelli che hanno creato le maggiori perplessità: si incontrano pagine curate da singoli che si identificano come appartenenti ad istituzioni, rendendo dubbia l'assegnazione. L'ambivalenza è stata segnalata con la notazione 'I/P'. Un'altra circostanza ambigua è quella di pagine curate da associazioni ma pubblicate all'interno di siti istituzionali. Qui la responsabilità sui contenuti è stata considerata a carico del sito ospite, più elevato gerarchicamente, la relativa casella conterrà dunque una 'I'. **Autore:** Come per l'editore parrebbe

¹ Vedi oltre, alla sezione 3.3.

Tabella 1: valutazione dei siti

N°	URL	Editore	Classificazione editore	Autore	Lingua	Valutazione storiografica	Utilità	Iconografia
1	http://www.aip.org/history/curie/contents.htm	The Center for History of Physics, a division of American Institute of Physics	I	+		5		3
2	http://www.ccr.jussieu.fr/radioactivite/accueil.html	Centre de Calcul Recherche et Réseau Jussieu	I	+/-		5		1
3	http://www.nobel.se/physics/laureates/1903/index.html	The Nobel Foundation	S	+		5		1
4	http://www.treasure-troves.com/bios/CurieMarie.html	Eric W. Weisstein and Wolfram Research, Inc.	\$	+		4		1
5	http://astro.org/about/curie.html	American Association of Medical Physicists, published by the American Institute of Physics	I	+		3		2
6	http://www2.lucidcafe.com/lucidcafe/library/95nov/curie.html	Lucid Interactive	\$	+		3		1
7	http://www.northnet.org/stlawrenceaauw/curie.htm	St. Lawrence County, NY Branch of the American Association of University Women	S	-		3		0
8	http://musee.curie.fr	Musée Curie	I	-		2		2
9	http://www.phy.hr/~dpaar/fizicari/xcurie.html	D.Paar	I/P	+		2		1
10	http://hum.amu.edu.pl/~zbow/ph/sci/msc.htm	Zbigniew Zwolinski	I/P	+		2		2
11	http://step.sdsc.edu/projects95/chem.in.history/essays/curiemarie.html	San Diego Supercomputer Center (SDSC)	I	+		1		0
12	http://www.jfcr.or.jp/Ra100/index-e.html	Japanese Foundation for Cancer Research	S	+		1		0
13	http://www4.50megs.com/spicasc/curie1.htm	Istituto astrologico Orion	P	+		1		1
14	http://www.physics.ucla.edu/~cwp/Phase2/Curie,_Marie_Sklodowska@812345678.html	CWP and Regents of the University of California	I	+		0		1
15	http://www.nyu.edu/classes/murfin/scihistoryboard/messages/299.html	New York University, un gruppo di discussione	I	+		0		0
16	http://inst.augie.edu/~jkbjerga/histochem2.html	Augustana College	I	-		0		0
17	http://www.san-marino.k12.ca.us/~summer1/1997/cc/curie.html	San Marino Unified School District	I	+		0		1
18	http://www.france.diplomatie.fr/label_france/ENGLISH/SCIENCES/CURIE/marie.html	Ministère des Affaires étrangères	I	-		0		1
19	http://www.racine.ravenna.it/curba/rivoluzioni/Chimica/elementi/Biografie%20chimica.htm	Rete civica dei comuni e della provincia di Ravenna	I	-		0		1
20	http://www.ampolstitute.org/sklodowska.html	The American Institute of Polish Culture	S	+		0		1

scontato attendersi l'indicazione del nome dell'autore, che invece spesso non viene fornita. Ne abbiamo segnalato la presenza con 'più' e l'assenza con 'meno'. La scelta dei due segni, al di là del fatto che comunicano il dato in maniera intuitiva, esprime un ulteriore giudizio quantitativo, un sito che indica l'autore vale 'qualcosa in più'. Quando come indicazione compare '+/-' si-

gnifica che, all'interno dell'ipertesto, solo alcune pagine sono 'firmate'.

Lingua: il parametro più semplice da stimare ma fondamentale per definire la fruibilità del sito. Sono stati trovati siti nelle lingue più disparate, dal Polacco (naturalmente) al Coreano (un po' meno scontato). Un sito è disponibile addirittura in una versione in Latino, si suppone per dilatarne l'ac-

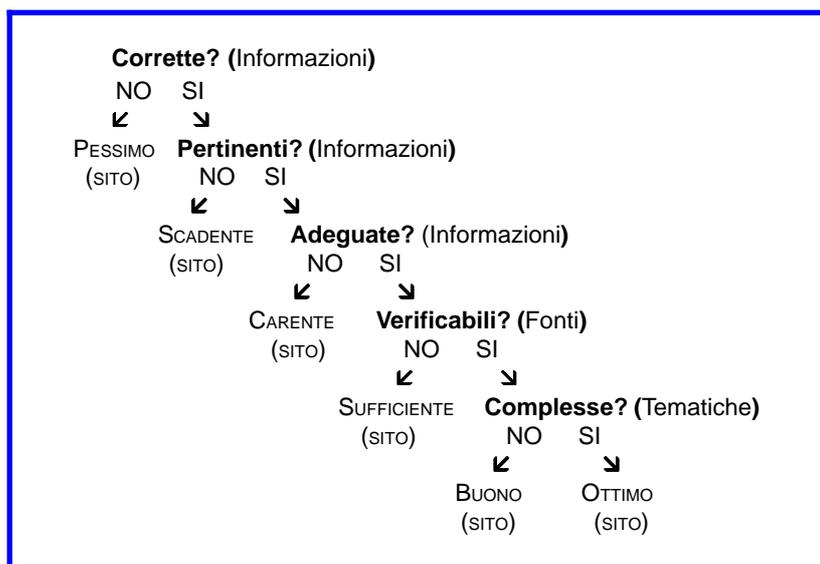
cessibilità, tentativo mirabile anche se - alquanto dissonante in un ipertesto - dal suono vagamente medioevale. Essendo questo lavoro rivolto, presumiamo, esclusivamente alla didattica italiana, sono stati considerati solo i siti disponibili in almeno una lingua di 'facile accesso', vale a dire (oltre all'Italiano, che però offre ben poco), Inglese, Francese, Spagnolo o Tedesco.

Tabella 2

Valutazione storiografica del sito				Pessimo	Scadente	Carente	Sufficiente	Buono	Ottimo	
Contenuto storico	Corretto			-	+	+	+	+	+	
	Pertinente				-	+	+	+	+	
	Adeguate					-	+	+	+	
Metodo storiografico	Fonti verificabili	FONTI PRIMARIE					-	+	+	
		FONTI SECONDARIE								
	Complessità tematica	BIOGRAFIA								
		CONTESTO	Scientifico						-	+
			Socio-economico							
		EPISTEMOLOGIA	Esperimento							
Teoria										
Punteggio assegnato nella Tabella 1				0	1	2	3	4	5	

Valutazione storiografica: Per costruire una griglia di valutazione storiografica abbiamo tenuto conto, sia pure in forma semplificata, della ricchezza e varietà di informazioni che il lettore esperto si attende da un testo storico. Va da sé che nell'applicazione effettiva di quasi tutti i criteri di valutazione ci si deve ricordare che abbiamo a che fare con testi, o insieme di testi, che per la loro stessa fruibilità da parte di un pubblico 'globale', inesperto e frettoloso tendono ad essere brevi e poco complessi. Abbiamo seguito un metodo di classificazione dicotomico, tale che solo il possesso di una certa proprietà fa sì che l'esame prosegua verso gradi più elevati di valutazione. Lo Schema I chiarisce le tappe del processo di valutazione.

Schema I



Le definizioni storiografiche dei termini utilizzati in Tabella 2 e nello Schema I non sono semplicissime, ma per i nostri scopi possiamo limitarci a qualche osservazione. La prima, essenziale, valutazione riguarda la *correttezza* delle informazioni fornite all'utente del sito; la presenza di informazioni errate, o peggio false, deve far terminare inesorabilmente l'esame: una delle 'piaghe' della storiografia è data dal perpetuarsi di informazioni errate (originate da cadute di metodo) o false (nate dall' 'intuizione' dello storico). È proprio qui che non si applica l'attenuazione dei criteri storiografici più elementari, legata alla genericità del pubblico cui sono rivolti i testi della Rete, è anzi la vastità indifferenziata del numero di utenti potenziali a far gravare una pesante responsabilità su chi è all'origine del processo di informazione. Un sito che contiene dati non corretti è classificato *pessimo*. Ci siamo spesso trovati di fronte a siti che, pur non contenendo grossi errori presentano diverse imprecisioni. Abbiamo stabilito come criteri discriminanti il tipo ed il numero delle imprecisioni. Se queste sono riferite ad aspetti scientifici, il sito è stato valutato pessimo, se, viceversa, riguardano aspetti non rilevanti della biografia della scienziata (ad esempio l'età esatta del diploma, chi erano i donatori delle autovetture utilizzate come basi radiologiche durante la Prima Guerra Mondiale) e non sono più di due o tre, l'esame è stato portato avanti.²

Se le informazioni sono giudicate corrette, si pone la questione della loro *pertinenza*. I 'fatti' biografici/storiografici sono innumerevoli, quindi è necessaria una severa selezione delle informazioni, ma tutte quelle sopravvissute alla selezione non devono forzare il ritratto biografico verso la caricatura, o ridurre la narrazione dell'evento ad una serie di aneddoti.³ Il sito che propone notizie non pertinenti al tema è classificato come *scadente*.

Mentre la *pertinenza* riguarda *ciò che si può dire*, l'*adeguatezza* si riferisce a *ciò che si deve dire*, stabilito in relazione alla circostanza in cui la pagina viene proposta. L'*adeguatezza* è

stata valutata relativamente alla tipologia dell'editore e alle sue finalità: da un sito commerciale è ragionevole attendersi informazioni molto circoscritte rispetto a quanto ci si aspetta da un'istituzione universitaria, dalla quale si pretende una scrupolosa consultazione di diverse fonti, e quindi una qualità superiore. L'appartenenza ad istituzioni prestigiose non è, da sola, una garanzia, l'autore può essere comunque superficiale, o non particolarmente competente rispetto all'argomento trattato, tuttavia, come riportato considerando la questione dell'editore, presentare un lavoro all'interno di un sito, poniamo, universitario significa fornire delle credenziali consistenti e creare un'aspettativa elevata. Dunque, più un sito si pone in alto rispetto alla tipologia editoriale, più critica è stata la valutazione per stabilire se il contenuto fosse o meno adeguato. In ogni caso, se privo di alcune informazioni essenziali, come date o luoghi (gli storici a questo proposito sono maniacali), nessun sito può raggiungere la valutazione positiva, e si ferma alla posizione mediocre di *carente*.

Le tre proprietà che abbiamo discusso finora riguardano criteri di contenuto del sito, ma la *qualità storiografica* delle informazioni deve essere sottoposta ad ulteriore analisi. Su un piano molto generale, che va oltre la correttezza storiografica, i dati di qualsiasi discorso dovrebbero essere verificabili da chi riceve il messaggio - almeno in linea di principio. La *verificabilità* delle informazioni storiche si traduce nell'indicazione delle fonti, primarie o secondarie, a cui l'estensore del testo ha attinto per costruire il suo racconto. Un sito che non cita le proprie fonti è appena *sufficiente*.

Siamo così arrivati ad un ultimo nodo, quello della *complessità* tematica, luogo privilegiato del mestiere dello storico. In Tabella 2 abbiamo distinto cinque diversi ambiti di indagine (e perciò di racconto) che rappresentano altrettanti poli della situazione conoscitiva in cui lo scienziato si mosse, o l'evento scientifico accadde. Malgrado l'evidente rudimentalità dello schema, non abbiamo ritenuto necessario

che per giungere ad essere ottimo il testo dovesse possedere tutti e cinque i tratti della complessità della storia della scienza. Un sito è stato valutato *ottimo* se erano presenti temi pertinenti ad almeno due delle tre aree tematiche segnalate (biografia, contesto, epistemologia). Altrimenti rimaneva 'soltanto' *buono*.

Ognuno dei termini utilizzati per valutare la qualità del sito è espresso quantitativamente, in tabella 1, da un punteggio evidenziato con colorazione semaforica. La correlazione tra le fasi della valutazione storiografica ed il punteggio è desumibile dalla tabella 2.

Utilità: Come si è visto quasi tutti i passaggi della valutazione storiografica hanno seguito criteri inalienabili, mentre uno, il punto riguardante l'adeguatezza, è stato riferito alla tipologia del sito in esame. In questo modo hanno - giustamente - potuto ottenere punteggi elevati siti compilati in modo *adeguato* alle loro finalità, ma non sempre altrettanto adeguati alle necessità di chi si accinga ad effettuare una ricerca storiografica. Infatti siti commerciali o privati, dai quali ci si attende di meno, hanno potuto più facilmente superare lo scoglio dell'adeguatezza. Abbiamo quindi inserito un ulteriore elemento di valutazione: utilità, lontano dal voler essere un giudizio morale, esprime una segnalazione per orientare quanti abbiano deciso di utilizzare la Rete come fonte di dati. Ovviamente, anche qui, il colore verde esprime un vivo consiglio a visitare il sito mentre il rosso vorrebbe dissuadere. Il giallo indica la presenza di informazioni interessanti, ma non particolarmente rilevanti, non molto approfondite o quantitativamente limitate. Con un'eccezione importante: i siti che - evento rarissimo - forniscono l'indicazione bibliografica di fonti primarie sono stati insigniti di pallino verde, tutti ed indistintamente, compresi quelli per il resto completamente trascurabili. Quelli che segnalano invece fonti secondarie hanno avuto almeno 'giallo'.

Iconografia: Nel nostro 'mettere tra parentesi' gli aspetti grafici abbiamo fatto un'eccezione - scontata - segna-

² Questi particolari sono rilevati come inesatti solo perché uno di noi (F.T.) ha studiato a fondo la biografia di Sklodowska. Su un piano più generale ci si può aspettare in molti siti un numero cospicuo di inesattezze, legate alla 'tradizione dei manuali', per cui un errore in una fonte importante viene perpetuato dai lettori/scrittori successivi; *vide infra*, nel testo riferito alla nota [22].

³ Tratteggiare caricature e raccontare aneddoti sono attività interessanti e del tutto legittime. In sede storiografica occorre essere molto guardinghi, perché ci si può avvicinare pericolosamente alla calunnia.

lando la maggiore o minore ricchezza di immagini pertinenti al tema (ritratti, ambienti, edifici, etc.). Il punteggio 'zero' segnala l'assenza di qualsiasi immagine, 'uno' di una quantità trascurabile (spesso, propriamente, di una sola immagine), 'due' di una quantità discreta e 'tre' di abbondante materiale.

Si può dedurre da questa panoramica sui criteri di classificazione che i dati più utili per selezionare i siti da utilizzare come fonti per la didattica sono *valutazione storiografica* e *utilità* (infatti la tabella è stata ordinata in base a questi due criteri, nell'ordine). In particolare la valutazione storiografica, che è l'elemento che ha creato più problemi e che ha influenzato, spesso, la scelta degli altri parametri analizzati e la modalità della valutazione. In ogni caso ci sembra opportuno segnalare che anche i siti che hanno ricevuto un punteggio storiografico elevato e/o il colore verde riguardo all'utilità non possono essere considerati singolarmente sufficienti per ricavare una visione organica ed articolata della vita di Sklodowska, del suo lavoro, dell'intorno scientifico e conoscitivo della Parigi di fine Ottocento, delle conseguenze epistemologiche, economiche e socio-politiche, della scoperta della radioattività. Neanche i migliori fra i siti esaminati trattano tutti questi aspetti, inoltre alcuni possono presentare carenze, omissioni, trascuratezze, o semplicemente avere alcune parti fatte meglio di altre. Quindi, come è valido anche per testi non virtuali, è sempre bene consultare diversi siti per avere un *adeguato* livello di informazione. Per orientare la scelta i primi tre siti della tabella 1 saranno recensiti nella sezione 2.2, specificando il perché della valutazione elevata, quali siano i punti di forza e gli ambiti, fra quelli sopra ricordati, trattati in maniera eccellente, quali collegamenti interni (spesso il livello di ipertestualità è molto spinto, per cui non rimane immediato orientarsi all'interno del sito) convenga seguire per arrivare alle informazioni imprescindibili.

2. Marie e la Rete

2.1 Da Marie alla Rete

Come anticipato al paragrafo precedente, nel corso della valutazione dei siti sono nati innumerevoli problemi, non necessariamente legati allo specifico argomento della nostra indaga-

ne, che anzi permettono riflessioni sulla Rete di carattere molto più generale.

Insistiamo ancora su un punto cruciale: autore ed editore sono dati fondamentali per poter decidere del grado di affidabilità di un testo, ed eventualmente utilizzarlo a propria volta come fonte. La cosa si manifesta immediatamente osservando che *autore* e *autorità* sono accomunati dalla stessa radice linguistica, l'uno è presupposto inalienabile della seconda. In modo sia diretto sia indiretto anche l'editore è connesso all'autorità. Da un testo stampato è più che ovvio attendersi l'indicazione del nome dell'autore (spesso arricchito da una breve biografia), e l'indicazione precisa del nome (legale) dell'editore, che, se non altro per evitare magre figure, avrà effettuato un qualche controllo sui contenuti delle pubblicazioni su cui appone il proprio nome. Visibilmente per le pagine della Rete non esiste un codice professionale di questo genere, e anche quando abbiamo tentato di chiedere le informazioni mancanti al *webmaster*, nessuno ci ha risposto. Evidentemente, vista la incontrollata possibilità di pubblicare qualsiasi testo (il costo è quasi nullo, la distribuzione non è necessaria), si sono rapidamente diffuse abitudini pessime. A dimostrazione dell'inaccettabile piega che ha preso la Rete, in particolar modo presso i giovanissimi, meno abituati a (e meno dotati di) strumenti per vagliare criticamente le informazioni che ricevono, riportiamo un caso di 'vita vissuta'. Ad un esame di maturità (anno scolastico 99/00) per periti tecnici (di varie specializzazioni, fra le quali anche informatica),⁴ i diplomandi hanno presentato delle relazioni inqualificabili, delle semplici collezioni di siti scaricati dalla Rete senza il minimo approccio critico. Quando gli si è fatta notare la gravità delle carenze le reazioni sono andate dal diffidente (questa volta sì) al seccato. Come approfondito nella sezione 3, interamente dedicata alla questione dell'autorità, sono in corso tentativi di tamponare, o almeno di mettere in luce, il problema.

La situazione è aggravata dal fatto che abbiamo rilevato che non sempre i siti

attesi come autorevoli in base all'istituzione di appartenenza esaudiscono questa attesa. È successo che siti che ci si aspettava di buon livello risultassero, dal punto di vista del contenuto, inaccettabili, mentre altri, ad esempio commerciali, fossero di qualità nettamente superiore. Ciò si rileva immediatamente dalla tabella 1 confrontando i punteggi ottenuti nella valutazione storiografica con la classificazione dell'editore: si trovano un po' tutte le combinazioni possibili. Un'altra aspettativa disattesa è quella di una qualche correlazione fra i parametri, ad esempio autorità dell'istituzione e presenza del nome dell'autore, infatti ci si attenderebbe da parte delle istituzioni 'autorevoli', se non attenzione ai contenuti, almeno il rispetto delle regole minime dell'editoria. Analogamente, la valutazione storiografica sembra non avere connessioni né con l'indicazione dell'autore né con la classificazione dell'editore.

Relativamente alla presenza di errori di contenuto la nostra ricerca si è rivelata - per una volta - più facile del previsto. Come il lettore avrà notato non c'è nessun parametro che consideri la presenza di dolo, di inesattezze intenzionali (ad esempio Imparzialità). Questo tema è sottolineato in molti dei lavori che abbiamo consultato come punto di partenza per elaborare il metodo di valutazione qui presentato, è chiaro che la questione è - correttamente - considerata scottante. Nel nostro caso si è ritenuto che eventuali errori od omissioni, che si risolvono naturalmente in una distorsione dei fatti, fossero involontari, dovuti a superficialità e non a frode intenzionale. Riguardo all'argomento 'Marie Curie' abbiamo stimato che non ci siano interessi né religiosi né economici né d'altro genere che possano rendere vantaggioso fornire informazioni false o distorte.

2.2 Dalla Rete a Marie

Digitando 'Marie Curie' su uno dei principali motori di ricerca (*Google*) abbiamo ottenuto l'indicazione di 30.400 siti (al 15 giugno 2000; in un controllo effettuato il 12 ottobre successivo il numero è salito a 102.000);⁵

⁴ È chiaro che la (presunta) preparazione professionale in informatica dei candidati aggrava il significato sconcertante dell'episodio.

⁵ Non commentiamo questa crescita abnorme perché potrebbe essere dovuta ad una variazione nel metodo con cui *Google* effettua la ricerca. Per il futuro ci proponiamo di monitorare la situazione utilizzando parallelamente diversi motori di ricerca.

evidentemente è impensabile poterli esaminare tutti. Abbiamo operato una selezione introducendo altre parole chiave ('Skłodowska' e 'Langevin') fino ad arrivare ad un numero ragionevole di siti segnalati. Fra questi è presente un sito polacco (il numero 10 della tabella 1), non brillante nei contenuti, ma che presenta moltissimi collegamenti ad altri siti (più di 80) che sono stati tutti esaminati. Da collegamenti presenti in questi ultimi sono stati trovati ulteriori indirizzi. In totale abbiamo quindi esaminato più di un centinaio di siti. Riportiamo di seguito una recensione, che approfondisce la valutazione sintetica presente in tabella 1, dei primi tre, quelli con punteggio storiografico massimo. L'ultimo controllo su questi tre siti è stato effettuato il 13 ottobre 2000.

Sito n. 1:

<http://www.aip.org/history/curie/contents.htm>

Senza dubbio si tratta, a pari merito con il sito numero tre, del migliore fra quelli esaminati. Innanzi tutto è stata seriamente considerata la questione dei dati editoriali: l'editore, l'autrice e le fonti sono evidenziate, con chiarezza, nella *home page* e nell'apposita pagina *credits*. La sezione biografica è articolata ed approfondita e corredata da un cospicuo numero di immagini, molte delle quali poco comuni. È l'unico che riporta articoli originali di Skłodowska [1] ed ha, all'interno della stessa biografia, discreti riferimenti alla storia della scoperta della radioattività. Anche la struttura interna è meditata con cura, è semplice muoversi tra le varie pagine, che, oltretutto, sono elencate nella mappa del sito. Si consiglia vivamente di visitarlo con attenzione. È aggiornato al 2000.

Sito n. 2:

<http://www.ccr.jussieu.fr/radioactivite/accueil.html>

Ottenere questo indirizzo è stato particolarmente complicato. In altri siti abbiamo trovato la segnalazione di due diverse pagine di questo sito francese; nonostante numerosi tentativi non è stato possibile passare da una all'altra. Solo risalendo manualmente i livelli di uno dei due indirizzi siamo riusciti ad approdare alla pagina *accueil*. La struttura del sito è pessima, presenta numerosi vicoli

ciechi e alcune pagine sono sistemate sotto titoli con cui non hanno nulla a che fare; ad esempio sotto *les images du serveur*, oltre alle attese fotografie - peraltro piuttosto modeste - si trovano le 'fotocopie' di due articoli di Becquerel, pubblicati nel 1896 sui *Comptes Rendus* (quest'ultimo dato non è fornito!). I contenuti sono invece di buon livello e hanno un approccio didattico, per cui il sito è particolarmente indicato per gli studenti. Partendo - in lingua francese - da *il y a cent ans* e addentrandosi per *cinq* successivi livelli di approfondimento si giunge ad una discreta biografia di Skłodowska (mancano però i soliti dati 'riservati', i riferimenti a Langevin e alla candidatura all'*Académie*). È anche presente l'aspetto storico, pur sbriciolato tra le varie pagine, in particolare meritano una visita la cronologia (dal 1896 al 1995) e un conciso ma corretto articolo che si trova, nella sezione bibliografia, selezionando *Pierre et Marie Curie découvrent le polonium et le radium*. Sono molto interessanti le descrizioni (alcune molto brevi) delle applicazioni della radioattività. Un supporto, a quanto abbiamo visto, unico è fornito dal glossario di termini tecnici e scientifici, presente come base degli innumerevoli livelli che è possibile discendere saltando da un collegamento all'altro. In sostanza il sito, molto ricco ma male articolato, può essere molto utile ma richiede che gli si dedichi una discreta quantità di tempo.

Sito n. 3:

<http://www.nobel.se/physics/laureates/1903/index.html>

È il sito ufficiale della fondazione Nobel. Al collegamento *Marie and Pierre Curie* si trova indubbiamente la migliore biografia fra quelle presenti sulla Rete. È ricca, strutturata, priva di omissioni e corredata da un'ampia bibliografia. Selezionando invece *Presentation speech* appare l'interessantissimo discorso pronunciato da H. R. Törnebladh, il presidente dell'Accademia svedese, in occasione della consegna del premio del 1903. Si tratta di una fonte - primaria - preziosa per saggiare le reazioni, suscitate in diversi livelli sociali e culturali, della scoperta del nuovo fenomeno

della radioattività. Naturalmente è possibile, da molteplici collegamenti, giungere all'analogia pagina sul premio per la chimica del 1911. Il sito è aggiornato al 2000.

3. Per un uso critico della Rete: la questione dell'autorità

Nelle sezioni precedenti abbiamo più volte utilizzato il termine 'autorità', inserendolo nella nostra argomentazione con appena un minimo di precisazioni contestuali. In realtà la questione dell'autorità è non solo cruciale per un uso critico della Rete, ma è anche piuttosto complessa e di estrema generalità. Abbiamo quindi deciso di affrontarla con una qualche ampiezza.

3.1 Autorità e contesto culturale

L'intreccio dei diversi significati della parola |autorità|⁶ si districa solo in parte quando si compie l'usuale esercizio linguistico di collocare la parola nel campo semantico di interesse, per il semplice fatto che questi campi non sono affatto disgiunti (in senso logico). |Autorità| rinvia a tipi di analisi che si connettono l'una all'altra, con un elenco formidabile: lessicale, letteraria, storica, filosofica, sociologica. È una processione di discipline che si presenta alquanto minacciosa, ma che possiamo - in parte - ignorare, dato il carattere preliminare e utilitaristico di questa indagine, cogliendo solo gli aspetti più pertinenti al nostro argomento. D'altra parte va anche tenuto presente che in questa nostra ricerca, per la sua stessa natura ibrida (o multidisciplinare), i contesti di riferimento sono numerosi: didattica (delle scienze), scienza (la chimica come disciplina), storia (della scienza), biografia (di Skłodowska), e infine - o all'inizio, nel presente contributo - la Rete.

Su un piano molto generale, filosofico, il termine |autorità| richiama "un qualunque *potere di controllo* delle opinioni e dei comportamenti singoli o collettivi, a chiunque appartenga". La sottolineatura è nostra, non di Nicola Abbagnano, che anzi aggiunge: "L'A[utorità] non consiste nel possesso di una forza ma nel diritto di esercitarla; e tale diritto deriva dal consenso di coloro sui quali viene eser-

⁶ Abbiamo utilizzato le sbarre verticali quando trattiamo i termini posti al loro interno come lessemi, ovvero come termini in uso in vari registri della lingua italiana.

citata”. [2] Il tratto del *potere di controllo* è presente nella parola |autorità| in tutti i contesti appena elencati, così come nella realtà del fare didattica, o scienza o storia ciascuno degli attori si assume il ruolo di un’ autorità, e su questa base esercita una forma di controllo, diversa e più o meno diretta a seconda dei ruoli effettivi e delle situazioni. I tratti della *forza* e del *consenso*, presenti pure in molte altre definizioni, sono i due poli attraverso cui l’ autorità esercita il controllo: *sul fondamento del consenso* ed, eventualmente, *attraverso la forza*. Di certo entrambi gli aspetti forza e consenso si ritrovano nella moltitudine di pratiche che potremmo chiamare in causa, dalla spiegazione in un’ aula, alla valutazione del *referee* di una rivista scientifica, al parere del curatore di una collana storica. Più sottile, e tuttora in formazione, è la presenza di forza e consenso sulla Rete; a questo accenneremo nella sezione 3.3.

Il fondamento dell’ autorità è cambiato nel tempo per quanto riguarda le società occidentali, con due spostamenti radicali. Nella civiltà greco-romana l’ autorità era basata su una irrimediabile disegualianza degli uomini, decisa dalla natura, e divenuta campo d’ azione dei filosofi (Platone e Aristotele, ad esempio), che vi avrebbero educato i figli dell’ aristocrazia. Nel passaggio dalla civiltà ‘classica’ a quella cristiana l’ autorità divina sostituì quella della natura, e infine a partire dall’ umanesimo il fondamento dell’ autorità si spostò sempre più verso il consenso degli uomini che ad essa si sottomettevano (lo Stato di Hobbes). Ma altri tipi di autorità furono pur sempre presenti nelle società in cui prevale l’ una o l’ altra delle forme appena elencate. Così, anche nel lungo periodo in cui la Chiesa di Roma fu la depositaria assoluta dell’ autorità di origine divina, in diversi strati intellettuali della società medioevale agirono forme di *autorità funzionali*, di per sé prive di potere diretto di coercizione. Ritroveremo sulla Rete queste forme abbastanza ‘universali’ di autorità, è quindi utile richiamarle in sintesi. Nella prima di queste forme |autorità| corrisponde a |testimonianza autorevole|, ossia a “testimonianza proveniente da fonte ritenuta infallibile (perciò ammessa senza previa valutazione critica o verifica sperimentale)”. Nella seconda forma |autorità| si descrive come

|esempio autorevole|, ovvero “normatività derivante da uso antico e celebrato (soprattutto in campo letterario)”. Nella storia della cultura la prima accezione è meglio nota come *principio di autorità*, la seconda come *principio di imitazione*. Nel *Grande Dizionario della Lingua Italiana* queste ed altre modalità d’ uso sono raccolte sotto una definizione generale, secondo la quale |autorità| è “Capacità di indirizzare il volere altrui secondo il proprio, ottenendo fiducia e obbedienza (per superiorità morale o intellettuale, per speciale competenza, per dignità derivante dall’ età o dal grado, per potenza, ricchezza, ecc.)”. [3] Qui, nell’ ambito della storia della cultura letteraria italiana, di cui il ‘Battaglia’ è l’ immenso deposito, il rapporto fra autorità, potere e forza è posto in termini diversi che nella storia della filosofia, ed emerge con maggiore chiarezza l’ *aspetto funzionale* dell’ autorità.

Non stupisce che i tratti funzionali di |autorità| siano discussi dettagliatamente nel contesto della sociologia. Elencando i diversi aspetti funzionali dell’ esercizio dell’ autorità Luciano Gallino mette in evidenza tratti per noi importanti: essa può appartenere anche ad una singola persona; di per sé non c’ è alcuna garanzia che se si esercita in relazione ad un evento la stessa autorità possa rinnovarsi in relazione ad un altro evento; si esercita al momento della soluzione di un problema; le relazioni basate su di essa sono discontinue, labili, rovesciabili e quindi soggette a competizione. Emerge il *ritratto funzionale dell’ esperto*, del detentore di conoscenze e di pratiche specializzate ed efficaci. Si pensi come esempio canonico all’ esperto d’ arte, cacciatore di falsi, che mette in gioco la propria autorità ogni qualvolta discute l’ autenticità di un’ opera. Più in generale, è ai risultati direzionali e sinergici dell’ esercizio dell’ autorità che Gallino fa risalire la presenza universale dell’ autorità nei gruppi e nelle collettività: “Qualsiasi pluralità di persone non casuale ed effimera come una folla richiede di essere orientata e diretta nelle attività che svolge per conseguire i propri scopi”. [4] Ci si può chiedere se e in quale modo la generalizzazione di Gallino possa valere per le centinaia di migliaia di operatori della Rete, però prima di interrogarci se essi siano solo ‘folla’, vorremmo spendere qualche parola, più specifica, sulla

funzione dell’ autorità nell’ ambito della conoscenza.

3.2 Autorità e conoscenza

Per punirmi per il mio disprezzo per l’ autorità, il destino ha fatto di me stesso un’ autorità.

Albert Einstein [5]

Chiunque debba scrivere un testo per una rivista colta, sia in campo scientifico che in campo umanistico, sa che - continuamente - deve ricorrere ad altre autorità per far reggere il proprio discorso. La sezione precedente non è altro che un gioco di riflessi fra Autorità (Abbagnano, Battaglia, Gallino), lemmi |autorità| tratti dai loro dizionari, e noi due (gli Autori del presente testo). Al momento in cui questo stesso testo sarà letto, il Lettore parteciperà al gioco, investendo (o spogliando) gli Autori di certi tratti di autorità. D’ altra parte il gioco dell’ intertestualità non opera solo orizzontalmente all’ interno del testo, ma come ha sottolineato Julia Kristeva, lavora verticalmente, fuori dal testo che si sta leggendo, secondo la dimensione dei “testi esteriori”. [6] La funzione dell’ intertestualità per la comprensione di un testo dovrebbe essere sempre tenuta presente, specialmente nelle pratiche educative (la ‘spiegazione’, ad esempio) e nelle procedure conoscitive ad esse connesse (la ‘comprensione’). In relazione all’ autorità nel campo della conoscenza scientifica l’ intertestualità svolge un ruolo così fondamentale da esserne in un certo senso la base visibile (leggibile). I tre articoli di Einstein del 1905 furono richiamati nei testi (e nei discorsi) di altri fisici, così da avviare un’ onda potente e singolare, che ha fatto diventare l’ immagine del teorico tedesco un’ icona del XX secolo.⁷ La ‘singolarità’ dell’ onda che lo sostiene tuttora, *malgré lui*, nell’ empireo delle massime autorità consiste nel fatto che più nessuno (o quasi) legge direttamente i suoi testi, e quindi *ora* la sua autorità è tutta intertestuale.

Ma l’ efficacia dell’ autorità nella conoscenza scientifica e storica va molto al di là della personalità degli Autori, per diventare in un certo senso anonima, più pertinente al *modo di*

⁷ Come è noto i tre articoli riguardavano la natura dei quanti di luce e l’ effetto fotoelettrico; il moto browniano; la relatività ristretta.

trasmissione della conoscenza che alla fonte della conoscenza stessa. Questo aspetto cruciale è stato posto con forza da Wittgenstein nelle sue riflessioni *Über Gewissheit*. Al paragrafo 167 della ricerca sulla certezza il filosofo austriaco ha scritto: "Io credo a quello che gli uomini mi trasmettono in una certa maniera. Così credo a dati di fatto geografici, chimici, storici. Così imparo le scienze. Naturalmente l'imparare riposa sul credere. Chi ha imparato che il Monte Bianco è alto 4000 metri, chi l'ha letto sulla carta geografica dice di saperlo".[7] La scelta 'disciplinare' di Wittgenstein non è casuale, in quanto fa riflettere il suo lettore sul campo del massimamente visibile (il fatto geografico), sul campo dell'invisibile microscopico (il fatto chimico), e sul campo del non visibile in assoluto (il fatto storico). È perciò ad una estensione estrema di "dati di fatto" che il nostro filosofo fa riferimento: "Ho imparato un numero enorme di cose e le ho accettate in forza dell'autorità di alcuni uomini, e poi ho trovato che alcune cose erano confermate, e che altre erano confutate dalla mia esperienza personale".[8] Nel testo originale [9] leggiamo *auf die Autorität*, espressione che potremmo anche tradurre *in base all'autorità*, togliendo ogni riferimento alla 'forza'. In altri casi, specie in certi giochi linguistici, Wittgenstein descrive situazioni penose, ma qui, nel discutere come apprendiamo il nostro 'sapere', il filosofo austriaco non va oltre l'ironia: "Mi insegnano che in queste circostanze accade questa cosa. Lo si è scoperto perché si è fatta la prova un paio di volte. Certamente, tutto questo non ci proverebbe nulla, se tutt'intorno a questa esperienza non ce ne fossero altre che insieme con essa costituiscono un sistema".[10] Qui ricompare in altra forma l'intertestualità: la singola affermazione dello scienziato regge perché è sostenuta da un intero discorso, la parte è accettata perché si inserisce (bene, presumibilmente) nel tutto disciplinare.

Prima di passare all'applicazione pratica di queste annotazioni sull'autorità è opportuno richiamare ancora un paio di riflessioni molto pertinenti al nostro contesto didattico. Israel Scheffler ha condotto un'analisi attenta delle condizioni della conoscenza nell'ambito educativo. Un punto che ci interessa da vicino riguarda tutti quei casi in cui l'evidenza, che

dovrebbe sostenere una affermazione di sapere, è surrogata dal ruolo di chi afferma il proprio sapere: "In questi casi [...] è sufficiente che la persona sia in una *posizione* atta a sapere ("a *position* to know"); ammettiamo che la sua posizione sia così autorevole rispetto alla credenza in questione che, se lui crede veramente, lui sa".[11] La successiva indagine, condotta sulla linea degli atti linguistici di Austin, è piuttosto sottile e possiamo soffermarci solo sulla conclusione, molto impegnativa, che riversa una pesante responsabilità su chiunque affermi che un altro, o un'altra, sa: "si afferma che lui ha l'*autorità adatta* per il punto in discussione, *il diritto* di fare una dichiarazione rilevante, senza giustificazioni".[12]

3.3 L'autorità nel contesto della Rete

In riferimento all'autorità nel contesto della Rete conviene assumere inizialmente un atteggiamento empirico, cercando di cogliere ciò che succede sotto i nostri occhi. Vediamo così che sono pienamente all'opera sia il principio di imitazione sia il principio di autorità. Il *principio di imitazione* ha fatto sì che molte istituzioni, grandi e piccole, non potendo mancare al nuovo appuntamento pubblico, si siano affacciate sulla Rete imitando almeno *nella forma* gli 'esempi autorevoli' dei predecessori. Qui per 'forma' si deve intendere essenzialmente la struttura pragmatica e retorica dei siti (accessibilità e navigazione; scelte tematiche, loro rilievo e disposizione; approfondimento). Ovviamente il *principio di autorità*, il richiamo alle 'testimonianze autorevoli', è all'opera in parallelo a quello di imitazione, ed anzi lo orienta. Tuttavia esso si esprime autonomamente e in modo singolare nei siti proprio nelle pagine più visitate, e apparentemente innocenti: quelle dei *links*. Da una parte il rinvio ad un altro sito per il reperimento o il completamento di una certa informazione 'carica' il sito esterno di una certa dose di autorità; se i rinvii ad un certo sito si moltiplicano sulla Rete, esso è investito 'automaticamente' di autorità. Ma il principio di autorità è all'opera nei links anche in modo più sottile, in quanto chi li sceglie e li propone compie esattamente quella funzione di orientamento che è tipica dell'autorità. Infine il principio di autorità, la forza di una 'testimonianza autorevole', sulla Rete

come altrove, agisce in funzione del ruolo pubblico dei gestori del sito. È questa una questione complicata. Nella ricerca di criteri di valutazione dell'autorità dobbiamo distinguere diverse categorie di siti (o di parti di essi) in riferimento a chi detiene la responsabilità della gestione. Ad esempio possiamo parlare di siti istituzionali, societari, commerciali, personali. Immediatamente - come in tutte le classificazioni - affiorano incertezze e ambiguità. Il sito <http://www.minerva.ch.unito.it> si presenta all'utente come "a cura della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana", appare quindi come un sito societario, tuttavia il suo URL lo colloca nel dominio dell'Università di Torino (unito.it) esso quindi viene annunciato alla comunità dei Naviganti in primo luogo come sito istituzionale, e in generale solo dopo l'apertura della *home page* si scopre che il sito gode dell'avallo della Divisione di Didattica. Quanto poi alla reale autorità delle diverse parti o testi del sito la redazione ha fatto una scelta che dovrebbe risultare abbastanza evidente ad ogni lettore: tutti i testi minimamente rilevanti sono firmati, e - in genere - è dato l'indirizzo di e-mail dell'autrice o dell'autore. Su questo aspetto della riconoscibilità dell'autore responsabile dello scritto messo in Rete insistono unanimemente quanti si sono interessati del problema. Nel giugno 1997 su *From Now On. The Educational Technology Journal* veniva proposta una guida sintetica per confrontare e valutare le fonti di informazione sulla Rete, a partire da una premessa che non si può non condividere "In questi tempi di info-eccesso (Info-Glut) e di info-immondizia (Info-Garbage) una sfida importante è la valutazione delle fonti di informazione". Jamie McKenzie, che ha compilato e commentato la guida, suggerisce qualche decina di interrogativi che il Navigante critico dovrebbe porsi per articolare il processo di valutazione. Le domande pertinenti alla questione dell'autorità sono le seguenti: "Hanno qualche credenziale per fornire questa informazione? C'è qualche prova (*evidence*) di preparazione o abilità professionale? Identificano per nome l'autore o il gestore? Chi ha fatto questo lavoro?".[13]

Esther Grassian, della UCLA College Library,⁸ ha pubblicato in Rete contri-

⁸ UCLA è l'acronimo della University of California, sede di Los Angeles.

buti interessanti, in cui ritornano con variazioni gli stessi interrogativi: “Chi è l’autore o il produttore? Quale è l’autorità o la professionalità (*expertise*) dell’individuo o del gruppo che ha creato questo sito? Il sito è sponsorizzato o co-sponsorizzato da un individuo o gruppo che ha creato altri siti Web?”.[14] E ancora: “Il sito afferma di descrivere o di fornire i risultati di ricerche o di indagini di studiosi? [...] I ricercatori, gli studiosi, i gruppi, le organizzazioni, le istituzioni, le aziende o i corpi dello Stato elencati come autori, sponsor o co-sponsor possono essere verificati come tali, e quali sono le loro qualificazioni?”.[15]

Oltre ai siti più usuali vi sono luoghi della Rete - fra i più notevoli - dove il problema dell’autorità diventa ancora più difficile di quanto lo sia per i siti personali. Ci riferiamo alle liste di discussione, a cui grande attenzione fu data all’inizio dell’uso di massa della Rete, perché allora non erano disponibili altri mezzi per presentare nel mondo virtuale le proprie opinioni (o la propria persona). Dal punto di vista educativo il problema dell’autorità dei testi rinvenuti nelle liste di discussione è tanto più rilevante quanto più ne sia diffuso l’uso fra i nostri allievi, che per altro ora preferiscono la forma di comunicazione assai più volatile delle *chat lines*. Indicazioni interessanti sull’uso critico dei testi apparsi nelle liste di discussione si trovano in un documento elaborato da un gruppo della Purdue University Undergraduate Library,[16] così come osservazioni rilevanti sulla questione della *qualità* delle informazioni si trovano in un contributo di un’altra bibliotecaria americana, Hope N. Tillman. Aggiornato al 20 maggio 2000, questo articolo esamina dettagliatamente le risorse che si trovano in Rete per valutare la Rete stessa.[17]

Nel complesso, e come indicazione generale, l’autorità del testo pubblicato in Rete deve essere analizzata criticamente ben ‘al di sotto’ del sito in cui viene ospitato. Giustamente gli Autori americani che abbiamo citato (tutti bibliotecari!) insistono sulla personalità dell’autore effettivo del testo in esame, come unica garanzia realistica della serietà del contenuto. Le osservazioni preliminari che abbiamo presentato in questa sezione sono poco più di una promessa di indagine più approfondita, dedicata esclusivamente ad un uso critico della Rete, e non essenzialmente strumentale come

nella presente nota. Concludiamo - per ora - sulla questione dell’autorità con un’ultima sottolineatura. A livello di analisi epistemologica del processo educativo Scheffler ha scritto: “l’istruzione è impegnata nel trasmettere non solo ciò che conosciamo, ma anche il nostro modo di conoscere (*our manner of knowing*), cioè i nostri criteri accettati di competenza nelle prestazioni, nella ricerca, e nella critica intellettuale.”[18] Questo atteggiamento consapevole non è diffusissimo nella pratica didattica, dove spesso ci si accontenta di lasciare sottintese le nostre pratiche veridittive (ma forse non si conoscono nemmeno ...). L’uso della Rete nella didattica accentua enormemente questa necessità critica e auto-riflessiva, proprio per la grande autonomia che viene lasciata allo studente. Quando Wittgenstein scrisse la frase su riportata, “Io credo a quello che gli uomini mi trasmettono in una certa maniera”, ci ha inviato un messaggio estremamente allarmante: *in einer gewissen Weise*, in un certo modo. Gli studenti ci credono (se ci credono) perché parliamo *dalla cattedra*. Se questa autorità, che ci è conferita dai nostri studi, dalla nostra passione, e dal nostro ruolo di docenti, fosse trasferita acriticamente alla Rete, qualunque sciocchezza trasmessa in quel ‘certo modo’ potrebbe risultare accettabile e accettata. Queste considerazioni sono ben lontane dall’essere meramente ‘filosofiche’, nel senso spregiativo di ‘lontane dalla realtà’, come è dimostrato dall’episodio che abbiamo narrato nella sezione 2.1, dei diplomandi che affastellarono senza criterio gli ‘scarichi’ dalla Rete.

4. L’immagine di Marie

I nuovi mezzi, probabilmente non impediranno, ma favoriranno, come già oggi sta avvenendo, la costituzione di subculture, che elaborano verità di nicchia [...]. [Prolifera una] miriade di microstorie, che dal facile accesso a grandi masse di informazioni possono trarre nutrimento e giustificazione invece di verifica.

Guido Martinotti [19]

Come si è già detto nella sezione 2 il numero di siti dedicati alla scienziata franco-polacca è spropositato. Que-

sto fatto ne riflette la fama a dir poco straordinaria, alimentata in modo incontrollato dalla stampa; fra campagne pro e contro, articoli osannanti e diffamanti,[20] di Sklodowska si è parlato moltissimo. Altri scienziati, uomini ma soprattutto donne, hanno avuto un destino affatto diverso, da questo punto di vista: il loro lavoro è sconosciuto ai più, ed altrettanto il loro nome. Una popolarità così ampia corrisponde, come è facile intuire, ad una conoscenza piuttosto superficiale. La stessa situazione si ritrova - naturalmente - sulla Rete: la gran parte dei siti dedicati alla scienziata è assolutamente trascurabile, ma anche fra quelli più ‘seri’ o curati da ‘istituzioni autorevoli’ si delinea, con poche eccezioni, un orizzonte sconfortante.

L’argomento principe è quello biografico. In *tutti* i siti esaminati c’è una biografia, più o meno approfondita (e molti non contengono nient’altro), ma alcuni episodi sono quasi sistematicamente trascurati. L’immagine di Sklodowska che mediamente emerge dalla Rete può essere definita agiografica. Mancano quasi dovunque, con una sistematicità impressionante, riferimenti agli episodi meno ‘nobili’ nella vita della scienziata. Episodi che non sono poi neanche così scandalosi: una relazione sentimentale con un collega e qualche legittima ambizione accademica che rendono un po’ meno inarrivabile, stereotipato, un personaggio tanto abbagliante, lo rivestono di un aspetto umano di cui altrimenti si avverte la mancanza. Di tutto ciò in Rete non c’è quasi traccia, ci si accontenta di elencare, con una spaventosa uniformità, gli episodi più celebri e illustri. Il motivo di ciò non dev’essere, supponiamo, la censura volontaria, ma un problema di fonti. Chi si avvicina per la prima volta al personaggio (noi compresi), inizierà probabilmente con la lettura della biografia scritta dalla figlia Ève,[21] che presenta esattamente le lacune (qui sì che sono volontarie) cui si è fatto riferimento sopra⁹. Il nostro ipotetico studioso potrebbe poi consultare alcuni siti Internet, trovando (stasticamente) conferma di quanto letto

⁹ Invece André Langevin, figlio del presunto amante, nella biografia del padre scrive: “Non è più che naturale che l’amicizia e la reciproca ammirazione, molti anni dopo la morte di Pierre, potessero svilupparsi gradualmente in passione ed in una relazione?”. Si deve però considerare che il libro di Ève Curie è edito nel 1937, quello di Langevin nel 1971, quando queste faccende non solo erano tollerate, ma potevano dare un’aura di romanticismo ad un’altrimenti ‘fredda’ biografia scientifica. La citazione è riportata nel terzo dei siti recensiti al paragrafo 2.2.

e pubblicare (magari sulla Rete stessa) o semplicemente diffondere quanto appreso, in perfetta buona fede, contribuendo così ad avallare con il suo personale contributo un'informazione distorta. Vorremmo qui ricordare che il reperimento di informazioni concordi è uno dei parametri utilizzati - a qualunque livello e in molti contesti - per valutare il grado di veridicità di un'affermazione; tuttavia in filologia e storiografia questa 'concordanza' è semplicemente l'indice di una fonte unica, precedente e comune a tutte quelle successive. Per filologi e storici l'accesso alle fonti originali è il primo passo di una garanzia di veridicità, che in casi delicati e complessi richiede ulteriori verifiche documentarie, controlli incrociati, esercizi ermeneutici, etc. L'attenzione critica è tanto più stringente quanto maggiore è la posta in gioco. Un caso non del tutto marginale è stato affrontato da uno di noi, a proposito dell'attribuzione a Ostwald (1907) della proposta del nome *Mol* alla unità di misura fondamentale in chimica. Un'indagine, fedele al *dictum* che non bisogna mai scrivere "il primo che ...", dimostrò che van't Hoff già nel 1887 aveva utilizzato in modo appropriato la *Kilogrammolekül*, e che Nernst almeno fin dal 1903 aveva definito con il termine *Mol* la grammomolecola.[22] Il fatto che tutti i testi consultati dessero Ostwald come il proponente del nome *Mol* derivava da una 'tradizione dei manuali' (come la chiamano gli storici), per cui un errore commesso in una fonte rilevante viene perpetuato da tutte le fonti successive. La situazione sulla Rete parrebbe proprio essere quella appena descritta, del continuo ricorso acritico a poche fonti ritenute autorevoli. Infatti le biografie, che sono l'elemento largamente predominante, sono spesso molto simili. Riguardo all'aspetto scientifico in senso stretto si ha una latitanza quasi assoluta. Alcuni (pochi) siti contengono qualche dato storico-scientifico (riferimenti a Becquerel, alla scoperta dei raggi X). Abbiamo trovato - nella nostra selezione - solo un sito che riporta articoli originari di Sklodowska.[23] Evidentemente questo aspetto, pur così essenziale, e la relativa documentazione, oltre a richiedere una competenza superiore, non sono ancora entrati nel 'circuitto' e non possono quindi essere rimbalzati da un sito all'altro.

Una conferma del fatto che la Rete

sta diventando auto-referenziale è che spesso, oltre alle notizie biografiche 'selezionate' (e all'assenza di quelle scientifiche) anche le fotografie presenti nei diversi siti sono le stesse, il materiale pubblicato deriva evidentemente da una ricerca condotta all'interno della Rete stessa, senza consultazione di documenti cartacei (e quindi neanche delle fonti primarie che sono, per quanto abbiamo visto, quasi inesistenti sul WEB). In questo modo si crea un progressivo rimasticamento dei contenuti che ottiene - inevitabilmente - di renderli sempre più insipidi, informi e lontani dalla 'verità'.

Questa situazione, abbastanza deprimente, può non essere la peggiore. Un sito (il numero 20 della tabella 1) che in base all'editore ci si attendeva piuttosto accurato, è risultato contenere errori particolarmente grossolani, nonostante presenti una bibliografia articolata su sei punti, che include l'ottimo testo di Susan Quinn.[24] Evidentemente gli scritti indicati non sono mai stati consultati. Un altro sito (il 14 della tabella 1), anch'esso con ottime credenziali, indica i titoli degli articoli di Curie del 1898 e, in poche righe di presentazione, riesce a commettere parecchi errori. Tutto ciò la dice lunga sulla considerazione che gli autori e gli editori stessi dei siti hanno del materiale presente sulla Rete, sulle esigenze minime di una pubblicazione, per quanto virtuale. Spesso, come visto, non vengono nemmeno forniti il nome dell'autore, o degli autori, dei testi e la provenienza delle informazioni, la bibliografia. Questa mancanza diffusa di serietà è un altro aspetto che 'favorisce' l'emergere, dalla Rete, di un'immagine di Sklodowska inevitabilmente superficiale.

Come già ricordato su testi a stampa questo avviene molto più difficilmente. Innanzi tutto è scontato che siano indicati autore ed editore, in secondo luogo se quest'ultimo ha deciso, con un investimento consistente, la pubblicazione, se ne deduce (a meno di secondi fini immorali) che la ritenga per lo meno corretta, che in un certo modo se ne faccia carico. Viene quindi operata una selezione a monte.

Naturalmente sul WEB si trovano anche siti ben fatti, ma considerando che quelli presenti sulla scienziata sono decine di migliaia, il vero problema non è (e questo vale in generale, non solo a proposito di Sklodow-

ska) l'assenza di materiale di qualità, ma piuttosto che un tale affollamento di 'scorie' ne rende difficile - per non dire drammatica - la separazione. In questo 'brodo' i pochi siti che meriterebbero attenzione si perdono, un qualsiasi tentativo di ricerca approfondita diviene, inevitabilmente, lentissimo. Pur non volendo seguire una certa corrente intellettuale forzosamente nostalgica (dell'odore dell'inchiostro e del crocchiare delle pagine), vogliamo comunque fare un'osservazione: anche fra i siti meglio curati e approfonditi, nessuno, per ovvie esigenze di spazio e di tempo limitati (se si impiegano anni a creare una pagina si rischia che il sito ospitante non esista più) può competere, dal punto di vista contenutistico, con un libro di centinaia di pagine, magari frutto di anni di ricerche. D'altra parte la Rete è vantaggiosa, dal punto di vista strutturale, proprio per le sue caratteristiche di agilità. Oltre ad essere divertente e graficamente stimolante permette, se i collegamenti interni di un sito sono studiati in modo attento, la ricerca molto rapida dei dati. E soprattutto, proprio per tutte le critiche che le abbiamo mosso, utilizzare la Rete è sicuramente un utile esercizio per iniziare a rifletterci sopra, diventare più critici riguardo alla massa enorme di dati che ci scarica addosso.

Bibliografia

[1] La terza delle famose *notes* del 1898, quella del 26 dicembre, (P. Curie, Mme P. Curie e G. Bémont, "Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende", *Comptes rendus* **127**, pp. 1215-1217) che è riportata all'indirizzo <http://www.aip.org/history/curie/discover.htm> e l'articolo "Radium and radioactivity", *Century Magazine* (January 1904), pp. 461-466 all'indirizzo <http://www.aip.org/history/curie/article.htm>.

[2] N. Abbagnano, *Dizionario di Filosofia*, Torino: UTET, 1971, *ad vocem*.

[3] S. Battaglia, *Grande Dizionario della Lingua Italiana*, Torino: UTET, 1961, *ad vocem*.

[4] L. Gallino, *Dizionario di Sociologia*, Torino: UTET, 1988, *ad vocem*.

[5] Cit. da: J. Ziman, *Il lavoro dello scienziato*, Bari: Laterza, 1987, p. 96. Si tratta dell'epigrafe al capitolo quinto, "L'autorità".

[6] J. Kristeva, *Semeiotiké*, Paris: **51** Seuil, 1969, pp. 84-85.

[7] L. Wittgenstein, *Della certezza*,

Torino: Einaudi, 1978, p. 30. Traduzione di Mario Trincherò; corsivi nel testo originale.

[8] *Ib.*, § 161, p. 29.

[9] L. Wittgenstein, *On Certainty*, Oxford: Blackwell, 1998, p. 23.

[10] *Rif.* [7], § 603, p. 98.

[11] I. Scheffler, *Conditions of Knowledge. An Introduction to Epistemology and Education*, Glenview: Scott, 1965, p. 61. Come indicato, il corsivo è nel testo.

[12] *Ib.*, p. 63.

[13] Jamie McKenzie, "Comparing & Evaluating Web Information Sources", URL: <http://www.fno.org/jun97/eval.html>, ultimo accesso 16 ottobre 2000. In questa pagina si trova la scheda di valutazione e una serie di indirizzi, interessanti e commentati, sullo stesso tema.

[14] E. Grassian, "Thinking Critically about World Wide Web Resources", <http://www.library.ucla.edu/libraries/college/instruct/web/critical.htm>, ultimo accesso 16 ottobre 2000.

[15] E. Grassian, "Thinking Critically about Discipline-Based World Wide Web Resources", <http://www.library.ucla.edu/libraries/college/instruct/web/discp.htm>, ultimo accesso 16 ottobre 2000.

[16] "Why we need to evaluate what we find on the Internet", <http://thorplus.lib.purdue.edu/~techman/eval.html>, ultimo accesso 16 ottobre 2000.

[17] Hope N. Tillman, "Evaluating Quality on the Net", <http://www.hopetillman.com/findqual.html>, ultimo accesso 16 ottobre 2000.

[18] *Rif.* [11], p. 2.

[19] Guido Martinotti, "Il sapere e la storia", *Iter. Scuola, cultura, società*, gennaio-aprile 1998, pp. 21-26. Cit. a p. 26.

[20] F. Turco, "Marie Curie, nata Marya Skłodowska. Un profilo biografico e la nota del 12 aprile 1898 - I parte", *CnS-La Chimica nella Scuola*, **XXI**, 3, settembre-ottobre 2000, p. 113.

[21] Éve Curie, *Vita della signora Curie*, ed. Biblioteca moderna Mondadori, 1948. Prima edizione del 1937.

[22] L. Cerruti, *La mole. Uno studio sulla epistemologia regionale dei chimici*, monografia n. 17, Torino: Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti", 1984, p. 43.

[23] V. nota [1].

[24] S. Quinn, *Marie Curie, a life*, Perseus book, 1996.

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Inquinamento da nanopolveri

Abstract

Aerosol produced by combustion processes, mainly the submicronic fraction of particulate matter, represents a hazard for health. Road traffic is the main source of this material in urban areas. Adsorption, accumulation, coagulation and photo oxidation phenomena in the atmosphere create secondary particles that become a vehicle for oxygenate organic compounds, a part of which is known for its carcinogenic effects. The solubility in water of many of these compounds favours, as a consequence of inhalation of the particulate, their access into the circulatory system together with an immediate inflammatory effect on pulmonary parenchyma.

In ogni centimetro cubo d'aria in ambiente esterno è sospeso un aerosol contenente da migliaia fino a milioni di particelle solide (polvere, fuliggine)

MICHELE SANTORO (*)

e liquide (nebbia, caligine), con dimensioni lineari variabili tra meno di 0,01 μm e alcuni centesimi di millimetro. Le particelle sono in grado di assorbire all'interno della loro massa altre sostanze presenti in atmosfera o di adsorbirle sulla loro superficie e possono inoltre coagulare aumentando le loro dimensioni iniziali. Secondo le attuali norme le particelle con diametro aerodinamico [i] inferiore a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) costituiscono il particolato fine, mentre quelle con dimensioni superiori a questo limite formano il particolato grossolano; rientrano in questa categoria una parte delle parti-

celle con diametro inferiore a 10 μm (PM_{10}) e precisamente la frazione compresa fra 2,5 e 10 μm e le polveri sospese totali (PST). Il decreto legislativo 4/8/1999 n. 351 sulla qualità dell'aria, fissa per il PM_{10} l'obiettivo di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come limite medio annuo, mentre resta sempre valido il limite medio annuo di 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media giornaliera di 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, per le polveri sospese totali, ma non esiste attualmente uno standard ambientale per il $\text{PM}_{2,5}$.

Le particelle della frazione fine possono rimanere in aria per giorni o settimane e possono spostarsi in atmosfera per centinaia o migliaia di chilometri prima di depositarsi al suolo con la pioggia o per sedimentazione. Viceversa il particolato grossolano scende al suolo rapidamente (dopo

[i] Detto anche diametro di Stokes. La legge di Stokes (la velocità di sedimentazione di una particella dipende dalle sue dimensioni e dalla sua densità) permette di determinare il diametro equivalente di una particella irregolare. Usualmente la densità della particella non è nota, per cui le viene assegnata una densità arbitraria di 1 (gr/cm^3). Poiché gli aerosol sono formati normalmente da particelle di valori di densità, forme e dimensioni distribuite su un certo intervallo, il diametro aerodinamico viene fatto corrispondere al diametro della massa mediana, cioè di un'ipotetica particella sferica di densità uno e di diametro corrispondente alla mediana della distribuzione [1].

minuti o ore) e viene trasportato lungo percorsi molto più brevi (al massimo decine di chilometri), tranne nelle tempeste di polvere in cui le particelle possono raggiungere distanze di migliaia di chilometri dall'origine. Mentre il particolato fine è in gran parte costituito da prodotti di combustione, o contiene composti formati in atmosfera attraverso reazioni fotochimiche [ii], le particelle solide di maggiori dimensioni non hanno origine da processi chimici e sono formate da materiale inorganico di origine minerale (polveri di eruzioni vulcaniche, polvere sollevata nella coltivazioni di campi, di cave e miniere, dal passaggio di veicoli, in genere dall'abrasione di superfici prodotta dal vento o da altri agenti atmosferici) o sono costituite da spore fungine, polline, frammenti di piante ed insetti o da aerosol naturali come lo spray marino [iii]. Per questioni energetiche la disgregazione meccanica di particelle più grandi porta, generalmente, alla formazione di polveri con diametro non inferiore a $1\mu\text{m}$ [2], quindi particelle più piccole derivano normalmente da processi di nucleazione (neoformazione). Da queste considerazioni, ma soprattutto dai dati riguardanti l'analisi statistica dimensionale delle particelle, è stata recentemente introdotta una nuova classificazione dell'aerosol liquido o solido disperso nell'aria che individua tre distribuzioni distinte [iv]: particelle grossolane (con diametro superiore a $1\mu\text{m}$), particelle fini (comprese fra $0,1$ e $1\mu\text{m}$) e particelle ultrafini o nanoparticelle (con diametro inferiore a $0,1\mu\text{m}$). Le particelle ultrafini (particelle primarie o nuclei) sono, in gran parte, direttamente prodotte dalle combustioni, mentre le particelle fini derivano dai nuclei in seguito a fenomeni di condensazione e di coagulazione [v] (particelle secondarie generalmente supersature di acido solforico e di solfati derivanti dall'ossidazione fotochimica atmosferica del diossido di zolfo [vi]). Particelle fini ed ultrafini costituiscono

insieme il PM_{10} , mentre le nanoparticelle vanno a formare il $\text{PM}_{0,1}$. Le concentrazioni medie di polveri fini nell'aria urbana variano nell'intervallo $20 - 30\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre quelle delle ultrafini presentano valori compresi fra 1 e $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ [vii]. Le nanoparticelle - che sono generate dalle emissioni dei veicoli a motore e da tutte le fonti in cui avvengono processi di combustione -, hanno una vita breve di minuti od ore e non si spostano oltre dieci chilometri prima di diventare particelle fini (o di accumulazione), mentre quelle di accumulazione (in cui si sono attuati fenomeni di condensazione e di coagulazione) permangono in atmosfera per giorni e settimane percorrendo centinaia o migliaia di chilometri, condizioni che favoriscono l'ossidazione fotochimica delle sostanze costituenti. Nell'ambiente urbano l'aerosol proveniente dalle emissioni degli autoveicoli, rientra in gran parte alla distribuzione delle particelle ultrafini [6] e figura così come un inquinante molto pericoloso per la sua capacità di penetrare in profondità nei polmoni. Dall'analisi della capacità di penetrazione nelle nostre vie respiratorie di particelle di dimensioni diverse è stato dimostrato che quelle comprese fra 5 e $30\mu\text{m}$ di diametro aerodinamico vengono bloccate nel tratto nasofaringeo, quelle comprese fra 1 e $5\mu\text{m}$ raggiungono i bronchioli e quelle inferiori ad $1\mu\text{m}$ raggiungono in profondità gli alveoli. Mentre le particelle fini sono ritenute negli alveoli con una percentuale del $30-40\%$, le nanoparticelle possono superare l' 80% di ritenzione [7]. L'esistenza di una stretta correlazione fra inquinamento da polveri e incidenza di malattie (riduzione della funzionalità polmonare, asma, bronchiti croniche etc.), ospedalizzazioni e tassi di mortalità nelle aree urbane è confermata da numerosi studi epidemiologici [8]. Negli ultimi anni negli Stati Uniti, in Europa ed in parte anche in Italia sono stati svolti o si stanno svolgendo studi epidemiologici sull'espo-

sizione all'aerosol fine ed ultrafine, a breve e a lungo termine. Dai dati emerge in generale che il fattore di rischio - rischio relativo fra campioni esposti e non esposti - è apprezzabilmente superiore a uno per le popolazioni esposte al particolato fine e soprattutto al nanoparticolato [5]. Nella valutazione degli effetti sanitari l'applicazione di elaborati metodi statistici permette di eliminare gli effetti confondenti (abitudine al fumo, preesistenza di affezioni polmonari non imputabili alle polveri, ruolo di altri inquinanti etc.).

Il ruolo del traffico nella genesi delle particelle fini e ultrafini.

Tutti i processi di combustione ad alta temperatura sono un'importante fonte di accumulazione atmosferica di aerosol fine ed ultrafine (l' 80% delle particelle primarie presenti nelle emissioni hanno un diametro compreso fra $0,05$ e $0,5\mu\text{m}$), appartengono a questa categoria processi naturali ed antropogenici come la combustione di biomasse, di carbone, di olio combustibile di grandi impianti termoelettrici, gli inceneritori, i cementifici, gli impianti di riscaldamento, i veicoli a motore. L'aerosol atmosferico presenta delle variazioni stagionali, i valori più alti delle concentrazioni sono osservati nel periodo invernale, ma il $\text{PM}_{2,5}$ non mostra differenze superiori al 50% . Di conseguenza la fonte predominante e continua di polveri sospese nelle aree urbane è il traffico veicolare, che contribuisce al livello complessivo dell'inquinamento atmosferico con il $50 - 60\%$ del particolato fine ed ultrafine, e con una quota proveniente dai veicoli a benzina che può arrivare al 40% [9]. Nell'aria urbana aleggiano quindi polveri fini ed ultrafini: il 40% del particolato prodotto dai veicoli a benzina e diesel ha dimensioni inferiori a $0,05\mu\text{m}$. Attualmente la valutazione del livello d'inquinamento viene effettuata misurando le concentrazioni nelle emissioni e in atmosfera, ma nel caso del

[ii] la composizione percentuale del $\text{PM}_{2,5}$ assume valori compresi nei seguenti intervalli: minerali vari $4 - 15\%$; SO_4^{2-} $11 - 34\%$; NH_4^+ $7 - 13\%$; NO_3^- $1 - 16\%$; carbonio organico $20 - 50\%$; carbonio elementare $4 - 15\%$.

[iii] la frazione grossolana compresa fra $2,5$ e 10mm è composta mediamente da: minerali $50 - 70\%$; SO_4^{2-} $3 - 5\%$; NH_4^+ $1 - 2\%$; non determinato $30 - 45\%$, quantità minime di carbonio organico, di carbonio elementare e di nitrati.

[iv] Distribuzione lognormale trimodale

[v] l'effetto dell'elevata tensione interfacciale delle particelle atmosferiche prevale sulla tendenza delle sostanze volatili adsorbite a ritornare in fase vapore [1].

[vi] molecole e radicali ossigenati, formati sotto il bombardamento delle radiazioni elettromagnetiche solari ($200-400\text{nm}$), ossidano SO_2 a SO_3 o a H_2SO_4 . La specie più attiva è il radicale ossidrilico [3] [4].

[vii] la loro composizione è grossomodo la seguente: carbonio organico $30 - 50\%$, $5 - 10\%$ di carbonio elementare, metalli $5 - 30\%$, nitrati e solfati (in gran parte come sali di ammonio) $2 - 4\%$; il $20 - 40\%$ è formato da materiale non ancora identificato [5].

particolato fine e del nanoparticolato sarebbe più significativo contare il numero di particelle per unità di volume, perché da questo dipende lo sviluppo superficiale complessivo delle polveri e la capacità adsorbente. In tabella 1 sono stati sintetizzati i dati comparativi di campioni di aerosol in termini di numero di particelle, di tassi chilometrici di emissioni, di percentuale di carbonio elementare e di carbonio organico, confrontando le emissioni di autoveicoli a benzina dotati di convertitore catalitico con quelle di automezzi non catalizzati e di veicoli dotati di motori diesel. Dai dati riportati si osserva che anche i motori diesel più recenti producono più particolato dei motori a benzina catalizzati, e che i motori diesel sono la fonte predominante del particolato submicronico [6] ed inoltre che nella composizione dell'aerosol diesel il carbonio elementare è prevalente sul carbonio organico (costituito in gran parte da idrocarburi policiclici aromatici e di loro derivati).

Nelle emissioni dei veicoli a benzina dotati di convertitori catalitici la quantità media di polveri è quasi i due terzi di quanto prodotto dai veicoli non catalizzati e ma il particolato ultrafine nelle emissioni risulta maggiore rispetto ai veicoli non catalizzati [10]. In ambedue i tipi di autoveicoli il carbonio elementare deriva molto probabilmente dalla grafitizzazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) [11].

L'uso di catalizzatori nei motori diesel sembra in grado di abbassare la quantità di particolato e in particolare di nanoparticelle, con opportuni filtri è possibile ridurre il numero di un fattore 100: da 10^6 a 10^4 per cm^3 . Nei nuovi motori diesel però la produzione di polveri ultrafini può aumentare di oltre 30 volte [12]. Negli aerosol dei veicoli diesel si osserva la presenza di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) a basso peso molecolare (come fenantrene crisene, fluorantene, pirene, benzo[a]antracene), mentre i veicoli a benzina presentano IPA a più alto peso molecolare (come benzo[a]pirene, benzo[k]fluorantene, indeno[1,2,3-cd]pirene, benzo[a]antracene, dibenzo[a,h]antracene).

Gli idrocarburi policiclici aromatici a basso peso molecolare sono originati in gran parte dal carburante incombusto e dall'olio lubrificante. L'80% è presente sulla fase ultrafine. Non esistono purtroppo studi e dati

Tabella 1. [cfr. riferimenti bibliografici]

	Veicoli a benzina non catalizzati	Veicoli a benzina catalizzati	Veicoli diesel
Numero di particelle ultrafini / cm^3 [11]	fino a 10^6	fino a 10^5	
Numero di particelle fini / cm^3 [11]		fino a 10^3	
Tassi di emissione numro di particelle ultrafini /km [11]	fino a 10^{12}	fino a 10^{11}	1,5 – 1,8 volte i veicoli catalizzati
Rapporto polveri fini/ultrafini	~ 5 [11]	< 1 [10] ~ 2 [11]	< 1 [8] ~ 2 [6]
Rapporto polveri veicoli x/ veicoli non catalizzati [5]	1	~ 0,7	
Rapporto carbonio organico/carbonio elementare nelle polveri	> 3 [10] fino a 20 [11]	> 3 [10] fino a 20 [11]	< 0,7 [10] < 0,4 [8]
Tassi di emissione di carbonio organico in mg/km	5 – 60 [2]	5 – 60 [2]	90 – 230 [2]
Tassi di emissione di carbonio elementare mg/km	2 – 70 [2]	2 – 70 [2]	160 – 900 [2]

sul particolato fine ed ultrafine prodotto da motoveicoli.

In uno studio recente [13] sono state confrontate le composizioni del particolato fine in diverse località urbane nel mondo per individuare le composizioni quantitative tenendo conto dell'uniformità della composizione dell'aerosol, della similarità nell'origine in località diverse (tale informazione risulta fondamentale per gli studi epidemiologici), con il fine di armonizzare gli standard in diversi paesi. I risultati dello studio dimostrano interessanti correlazioni fra località che dimostrano caratteristiche similari dal punto di vista economico-sociale-produttivo.

La genesi del particolato primario e le trasformazioni in atmosfera

Il particolato primario (vale a dire i nuclei che si formano nella combustione) che viene emesso in atmosfera, passa attraverso trasformazioni chimiche e fisiche che ne determinano poi l'azione specifica come inquinante. Sono ipotizzabili due meccanismi nella formazione dell'aerosol: processi di combustione che portano alla formazione di particelle carboniose, in gran parte ultrafini (particolato primario), separabili in due categorie: carbonio elementare o nerofumo, e carbonio organico poco volatile e processi non termici, che

avvengono in atmosfera in presenza di radiazioni solari e di radicali molto attivi (ossidrilie, ozono, idroperossili, ossidi di azoto etc.), che coinvolgono gli idrocarburi policiclici aromatici primari della fase organica e che portano alla formazione di particolato secondario, che è caratterizzato da un rapporto carbonio organico/carbonio elementare normalmente molto più grande di uno.

Il carbonio elementare primario si trova in maggiore quantità nella frazione ultrafine, il che suggerisce che la sua formazione sia il risultato di un processo di grafitizzazione del materiale iniziale, che deriva soprattutto dalla condensazione fisico/chimica degli idrocarburi policiclici aromatici nella fiamma in condizioni di scarsa ossidazione e ridotta turbolenza.

Il carbonio organico particolato che si forma nella combustione è costituito in gran parte da materiale catramoso ad alto peso molecolare, quindi da strutture di tipo non esclusivamente aromatico. L'identificazione di gran parte del materiale mostra la presenza di composti ad elevato peso molecolare in cui coesistono caratteri funzionali aromatici ed alifatici. La formazione di carbonio organico procede attraverso diverse fasi. Durante l'ossidazione termica si formano piccoli radicali che crescono con formazione di anelli aromatici

sempre più grandi. La crescita superficiale avviene inoltre per addizione dei gas ad alta temperatura presenti nella fiamma [14]. La formazione di particolato primario avviene quindi per coagulazione di grandi strutture aromatiche passando dalla scala molecolare di pochi angstrom a particelle delle dimensioni dell'ordine dei 10 nm. Quindi gran parte del materiale carbonioso rientra nell'ambito delle nanoparticelle.

Se si analizzano le emissioni dei motori diesel si osserva come il carbonio elementare prevalga sul carbonio organico. Una spiegazione del fenomeno va individuata nel fatto che l'ossidazione del carburante avviene in condizioni in cui risultano limitati gli effetti diffusivi. Il carburante viene iniettato nell'aria, già compressa a 30-40 atmosfere, ad una pressione che può arrivare a 2000 atmosfere – la turbolenza è molto minore che nei motori a benzina in cui è la miscela di aria e carburante che viene compressa invece a 14-18 atmosfere prima dell'accensione. Inoltre il gasolio è una miscela di idrocarburi a maggiore viscosità e maggiore tensione superficiale della benzina, per cui, mentre gli iniettori di aria e benzina portano nel cilindro del motore una miscela omogenea praticamente gassosa, il gasolio viene iniettato sotto forma di aerosol liquido. Un'efficiente micronizzazione delle particelle di gasolio favorisce la combustione, ma i tempi brevissimi del processo non permettono l'ossidazione completa di tutte le particelle di carburante, con la conseguente formazione di nanoparticolato costituito in gran parte da carbonio elementare.

Dopo la dispersione in atmosfera dell'aerosol primario si osservano complessi fenomeni evolutivi. Una porzione sostanziale della massa organica atmosferica è presente in fase gassosa e i composti ossigenati prodotti per via fotochimica costituiscono una frazione significativa (dal 30-50%) della massa dei composti organici volatili (VOC). È quindi presumibile che gli aerosol organici (particelle secondarie) siano il risultato di reazioni in atmosfera, che trasformano per condensazione i composti organici volatili in particolato organico, e di reazioni chimiche superficiali che avvengono sul particolato di solfati e nitra-

ti derivanti da SO₂ e NO_x che vengono immessi normalmente in atmosfera nei processi di combustione. Solfati e nitrati sono comunque meno della metà della massa del particolato atmosferico, il rimanente risulta formato da carbonio elementare e da carbonio organico oltre ad elementi in tracce (come i metalli pesanti). Il carbonio organico volatile ossigenato viene studiato, come fonte di aerosol secondario per i suoi effetti sanitari ed ecosistemici. Ma non è facile isolarne i componenti a causa della loro grande reattività. In laboratorio il trattamento degli IPA con ozono e radiazione ultravioletta porta alla formazione di chinoni (B[a]P-1,6-dione; B[a]P-3,6-dione; B[a]P-6,12-dione) che risultano fortemente genotossici. La presenza di questa classe di composti è stata determinata sul particolato atmosferico a pochi metri di altezza dal suolo [9]. Attualmente la fase particolata organica atmosferica formata per il 20-60% da pulviscolo fine e ultrafine, non è stata ben caratterizzata, solo il 10-20% è stata in parte identificata a livello molecolare [viii]. Un'alta percentuale della frazione solubile dell'aerosol organico è formata da specie macromolecolari analoghe agli acidi umici naturali. Per la conoscenza e la quantificazione, sia dal punto di vista scientifico che tecnologico dei fenomeni e dei processi di combustione (formazione/ossidazione ed emissione del particolato insieme ai gas esausti dei veicoli a motore e di sorgenti stazionarie), è determinante l'individuazione dei meccanismi che regolano la distribuzione dimensionale del particolato, la natura chimica delle particelle emesse in atmosfera e la conoscenza della cinetica delle loro trasformazioni. Le proprietà specifiche del nanoparticolato implicano l'analisi e l'interpretazione di fenomeni come la formazione, la crescita superficiale e la coagulazione delle nanoparticelle di carbonio. Sono questi, quindi, i nuovi temi di ricerca sull'inquinamento atmosferico e le indicazioni che si potranno trarre serviranno a fornire ulteriori elementi per la modellizzazione e la sperimentazione. La modellizzazione ha però bisogno di elementi quali la conoscenza della composizione atmosferica della frazione fine - conoscenza ancora

molto limitata per la frazione organica- e le associazioni statistiche tra i parametri degli aerosol che vengono misurati, gli indicatori biologici presi in considerazione e gli effetti in modelli animali ed umani in modo da poter identificare i costituenti organici che risultano biologicamente attivi. I dati allarmanti sulla concentrazione di polveri nelle aree urbane, e gli elementi che si potrebbero ottenere dalla ricerca, dovrebbero servire ad indirizzare la tecnologia verso la progettazione di apparecchiature per la combustione in cui sia ridotta al minimo la produzione del nanoparticolato organico ed inorganico.

Le conseguenze sanitarie del particolato fine ed ultrafine

L'obiettivo principale della ricerca in campo medico sul particolato atmosferico consiste nel valutare la plausibilità dei risultati epidemiologici e di sviluppare l'indagine sui meccanismi con cui avvengono i danni alla salute indotti dalle polveri, al fine di identificare le classi dimensionali ed i costituenti del pulviscolo attivi biologicamente [15]. Per raggiungere la conoscenza dei meccanismi di azione delle polveri, vengono generati in laboratorio aerosol di date composizione e dimensioni per testare su animali le ipotesi riguardanti gli agenti causali degli effetti che gli studi epidemiologici osservano sugli organismi. Altri metodi d'indagine consistono nella concentrazione fino a 100 volte di aerosol atmosferici, che vengono fatti inalare ad animali per individuare le correlazioni tra proprietà misurate del particolato ed effetti osservati sui modelli animali. Vengono inoltre raccolti campioni sul campo in campagne intensive per misurare le classi dimensionali del materiale particolato. I dati raccolti sono utilizzati nelle analisi epidemiologiche, particolarmente in quelle di ultima generazione che si interessano del ruolo delle particelle più fini.

Un altro problema che la ricerca è costretta ad affrontare è che esistono effetti confondenti di alcuni inquinanti sul legame tossicologia-epidemiologia, ma anche se una relazione diretta causa-effetto fra particolato e conseguenze sanitarie cardiopolmonari non è stata ancora chiaramente identificata, i dati epidemiologici sono ormai

[viii] n-alcani, acidi alchilici, aldeidi, esteri, aldeidi diterpenoidi, acidi aromatici policarbossilici, idrocarburi policiclici, chetoni policiclici aromatici, chinoni policiclici aromatici, acidi alifatici dicarbossilici, acidi dicarbossilici aromatici, glicosali, perossidi organici, polialcoli, idrossilammine, aminoacidi, nitrofenoli, diossine e difenilfurani variamente clorurati [15].

sufficienti a confermare l'esistenza di un legame. I meccanismi ipotizzati per spiegare i danni che il particolato ultrafine può causare alla salute sono vari e sono strettamente collegati con le caratteristiche chimiche e fisiche delle particelle e dei loro costituenti. A causa della capacità di penetrazione negli alveoli polmonari e quindi della loro elevata concentrazione sul parenchima polmonare e dell'enorme rapporto superficie/massa, è possibile che tali particelle inibiscano l'azione dei macrofagi alveolari, che hanno il ruolo di ripulire il tessuto polmonare dalle sostanze estranee inalate, è inoltre possibile che i macrofagi, per la presenza di un sovraccarico di particolato ultrafine, nel tentativo di distruggere il materiale, aumentino la produzione di mediatori citotossici (specie reattive ossigenate, enzimi e tossine), portando ad un aumento della suscettibilità alle infezioni, con infiammazioni e danni polmonari. Anche i lipopolissacaridi (antigeni batterici immunoreattivi esocellulari), sembrano poter causare processi infiammatori [15]. Ulteriore danno ai tessuti deriva dal fatto che il particolato ultrafine è in grado di adsorbire acidi forti, come l'acido solforico (derivante da ossidi di zolfo presenti in atmosfera), danneggiando i tessuti degli alveoli. La presenza di metalli (ferro, manganese, vanadio o nichel derivati dalla combustione o platino, palladio e rodio presenti nei convertitori catalitici dei veicoli a motore), sulla superficie delle particelle, aumenta l'irritazione dei tessuti e ne permette il trasferimento alle cellule, il loro effetto catalitico favorisce la formazione in loco di sostanze ossidanti dannose per i tessuti.

In seguito alla deposizione del particolato nei polmoni, la risposta dell'organismo dipenderà dalla composizione del pulviscolo atmosferico e da come i composti vengono veicolati nei fluidi polmonari. Una larga porzione di pulviscolo organico ultrafine è solubile in acqua, questo fatto ha importanti implicazioni nel determinare l'entità dell'esposizione ed i meccanismi tossicologici dato che l'acqua costituisce il 90% dei fluidi che circolano nei polmoni. Mentre i materiali insolubili sono internalizzati dalle cellule fagocitiche, la frazione solubile può alterare la composizione del fluido polmonare ed essere assorbita dai tessuti o entrare direttamente nel sistema linfatico e circolatorio. In

particolare il carbonio organico, caratterizzato da un complesso schema di funzionalità chimiche, dimostra di avere una specifica attività nei fluidi organici presenti all'interno degli alveoli [14].

La solubilità nei liquidi polmonari, la reattività, la capacità di formare radicali liberi, la concentrazione di endotossine, l'igroscopicità del particolato sono proprietà del pulviscolo organico che sono considerate importanti per la comprensione delle conseguenze sulla salute umana. È interessante analizzare la situazione sia dal punto di vista degli epidemiologi che da quello dei tossicologi, relativamente alla formazione dei composti presenti sulle particelle ultrafini e le vie di azione sull'organismo. Mentre i tossicologi sono naturalmente impegnati nella comprensione delle interazioni biologiche fra tessuti polmonari e particolato, dai dati epidemiologici emergono elementi che portano a ritenere che siano concentrazioni molto più basse quelle associate con effetti negativi rispetto a quanto emerge da studi tossicologici in laboratorio, che in compenso non sono ancora in grado di individuare l'effettivo meccanismo attraverso cui le concentrazioni di particolato molto fine possono causare seri danni alla salute.

Dalle ricerche tossicologiche basate sulla concentrazione di aerosol atmosferici emergono dati interessanti: alcuni animali cavia sottoposti ad un'atmosfera concentrata di particolato fine hanno manifestato alterazione dell'elettrocardiogramma e disordini del ritmo cardiaco che sono risultati fatali [16]. Studi tossicologici effettuati su un gruppo di idrocarburi policiclici aromatici (il dibenzo[*a,i*] pyrene, il dibenzo[*a,l*] pyrene, il dibenzo[*a,h*] pyrene), hanno confermato che questi causano tumori della pelle nei topi e cancri mammari nei ratti e l'elevata mutagenicità del benzopirene [16]. Nell'atmosfera urbana questa classe di composti, che risultano adsorbiti sulla fase particellare e in gran parte sulla frazione delle particelle fini ed ultrafini, presenta livelli sufficientemente alti (0.01 – 1.0 µg/g di aerosol).

La non approfondita conoscenza dei meccanismi biologici di azione sulla salute ostacola però lo sviluppo di strategie di controllo efficaci sull'inquinamento atmosferico e gli studi tossicologici tradizionali, che utilizza-

no aerosol generati in laboratorio con componenti di pulviscolo noti, non sono ancora in grado di determinare nel dettaglio i meccanismi o gli agenti causali responsabili degli effetti osservati.

Il punto sulla situazione

Varie sono quindi le ipotesi che cercano di spiegare la tossicità del particolato atmosferico: si pensa che questa derivi dall'accumulazione di materiale solido nel rivestimento epiteliale dei polmoni e che gli effetti siano primariamente associati con la frazione più fine delle particelle (quelle ultrafini o i nuclei ultrafini del particolato fine più solubile); che siano certi costituenti chimici ad essere particolarmente responsabili come i metalli di transizione; oppure un'ipotesi alternativa assume che i danni risultino dall'attivazione dei macrofagi polmonari derivante dagli ossidanti solubili in acqua (perossidi organici) che sono trasportati in profondità negli alveoli polmonari associati con il particolato. È probabile che i componenti metallici dell'aerosol primario siano importanti agenti catalitici e portino ad un aumento della produzione di mediatori con attività infiammatoria come le citochine (con un responso metallospecifico). In particolare è importante la dose di metalli solubili, nello specifico la prima serie dei metalli di transizione, che sono in grado di produrre specie ossigenate molto reattive.

Come si è visto le ipotesi formulate marcano la sfasatura fra studi epidemiologici e studi tossicologici poiché questi ultimi si sono soffermati finora sul particolato fine e non sull'ultrafine. La caratterizzazione chimica del particolato ultrafine costituisce quindi un campo di ricerca estremamente importante, e quello che si sa attualmente è che la composizione media delle polveri ultrafini in atmosfera urbana contiene attorno al 50% di carbonio organico (con valori medi di $0.3\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e meno del 10% di carbonio elementare ($0.05\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) [17]. Le attuali conoscenze portano a concludere che l'aerosol urbano sia formato da una complessa miscela di aerosol recente e datato che proviene da una varietà di sorgenti puntuali di combustione ad alta temperatura e che sia in grado nel causare risposte fisiopatologiche. Osservazioni effettuate su diverse distribuzioni di aerosol forniscono le seguenti informa-

zioni: gli aerosol di accumulazione recente sono conservati dopo l'emissione nell'ambiente, la loro distribuzione dimensionale (0.1–0.3 µm) non cambia di molto nel trasporto su scala urbana ed è caratterizzata dalla presenza di traccianti elementari che differenziano le fonti e l'accumulazione è fortemente condizionata dall'umidità relativa. L'aerosol contiene metalli pesanti che hanno lunghi tempi di residenza e sono depositati nel tratto respiratorio umano.

Una chiara associazione fra aumento della mortalità ed episodi di forte inquinamento determinato dall'inversione termica è stata riscontrata negli anni passati (Londra 1952 e 1956, New York 1963, etc.) e dagli studi epidemiologici è ormai evidente una correlazione fra affezioni respiratorie ed inquinamento atmosferico. Mentre, attraverso l'introduzione di norme e di controlli e di tecnologie più raffinate, sono state ridotte le emissioni di polveri sospese e le emissioni associate di SO₂ e di NO_x, non altrettanto proporzionalmente risulta diminuita la casistica di malattie e mortalità che risultano associate con l'inquinamento derivante da polveri ultrafini. Inoltre studi effettuati su serie storiche, condotti in varie differenti città con differenti climi e popolazioni, dimostra l'inesistenza di una soglia sotto di cui non sono osservati effetti, e come tali effetti siano comunque correlati in tempi brevi con variazioni della concentrazione di inquinanti in atmosfera. Le proprietà chimiche e fisiche del particolato ed in particolare della frazione misurabile più piccola del particolato (nanoparticelle) ritenuta la più probabile causa principale degli effetti sulla salute sono oggetto degli studi più recenti; risulta quindi, dal punto di vista epidemiologico, statisticamente significativa la correlazione fra il particolato fine ma ancora più significativa la correlazione con l'ultrafine [8].

In merito all'epidemiologia sull'inquinamento da polveri l'ufficio generale per l'Europa dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), in occasione della conferenza londinese dei ministri per l'ambiente e la salute del giugno del 1999, ha pubblicato uno studio [18] sui *costi esterni* (cioè costi non pagati da chi inquina ma dall'intera società) *dell'inquinamento atmosferico dovuto al traffico stradale* svolto in collaborazione fra i ministri dell'ambiente di Francia, Svizzera ed Austria. Il documento si oc-

cupa della relazione inquinamento-epidemiologia-economia, in altre parole delle conseguenze economiche dei danni alla salute derivanti dall'esposizione della popolazione all'inquinamento atmosferico determinato dalla circolazione dei veicoli a motore, sovrapponendo la mappa del PM₁₀ alla mappa della popolazione. È stato scelto come indicatore il PM₁₀, perché il particolato è considerato una sintesi degli inquinanti presenti in aria. Nel documento viene posto l'accento sulla necessità in futuro di ripetere lo studio usando indicatori più raffinati come il PM_{2,5} e ancora meglio il PM₁, quando i paesi europei saranno in grado di monitorare in modo sistematico anche queste frazioni più fini di particolato.

I risultati dello studio individuano fattori di rischio relativo superiori ad uno per le popolazioni esposte a concentrazioni superiori a 7,5 µg/m³ sia per effetti letali che per varie affezioni respiratorie, in particolare viene osservato un fattore di 1,306 per le bronchiti nella fascia d'età sotto i 15 anni. Altri risultati della ricerca sono che il traffico stradale è responsabile di oltre il 30% della concentrazione totale del PM₁₀, che il 50% della popolazione è esposta a concentrazioni comprese fra 20 e 30 µg/m³ e che i costi esterni annuali individuali medi derivanti dal traffico ammontano approssimativamente a 350 Euro, cioè circa 700.000 lire. Nell'agosto del 2000 l'OMS ha replicato in Italia lo studio del 1999 [19], ponendo sotto osservazione otto città con popolazione superiore a 400.000 abitanti (Torino, Genova, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli e Palermo), corrispondenti al 15% della popolazione italiana. I risultati conseguiti, relativamente ai fattori di rischio, risultano analoghi a quelli dello studio trilaterale. Nelle otto città campione la concentrazione media annuale nel 1998-99 risulta superiore a 40 µg/m³: da un minimo di 44,4 (Palermo) ad un massimo di 53,8 (Torino). Le proiezioni dello studio portano inoltre a prevedere la riduzione di 5500 morti per anno se si riuscisse a far scendere il PM₁₀ a 20 µg/m³. In Italia l'assenza di una legge quadro che riassume ed aggiorni tutti i provvedimenti legislativi disseminati nell'arco di alcuni decenni per la prevenzione ed il controllo dell'inquinamento atmosferico, crea non poche difficoltà a chi si ponga nella prospettiva di uno scenario chiaro e facil-

mente individuabile, anche in considerazione di norme, piani e programmi delegati alle regioni. Il decreto legislativo 351 del 4/8/99 del Ministero dell'Ambiente con il recepimento della direttiva europea 62/96 è indirizzato a colmare questa lacuna, ma fintanto che non usciranno le specifiche direttive riguardanti i singoli inquinanti, il DL 351 rimane solo una legge quadro generale. Nella logica del D.L. 351 sul particolato atmosferico, esiste un decreto del Ministero dell'Ambiente, uscito nel giugno del 1999 (decreto benzene), che fissa un valore-obiettivo (ma non un limite) di 40µg/m³, come valore medio annuo, per il PM₁₀. Sul tema particolato fine l'Unione Europea, con la direttiva 30/99 del Consiglio, affronta ed allarga nell'art. 5 l'indagine delle particelle al PM_{2,5}, ma nell'allegato III pone dei limiti solo al PM₁₀ (50µg/m³ nelle 24 ore da non superare più di 35 volte nell'arco dell'anno e 40µg/m³ nell'arco dell'anno, emendato dal parlamento europeo in 30µg/m³) fissando però al 1/1/2005 la data entro la quale questi limiti devono essere applicati.

Mentre le strategie messe in atto per il controllo delle particelle primarie nelle metropoli degli USA stanno riducendo le concentrazioni atmosferiche di particelle comprese fra 0.1–0.3 µm (carbonio elementare e carbonio organico) e sopra 2.5 µm [20]. l'argomento particelle ultrafini è invece ancora ignorato nelle norme europee.

Uno dei prossimi obiettivi dell'agenzia europea per ambiente (EEA) dovrà essere l'individuazione delle correlazioni fra gli indicatori PM₁₀ e PM_{2,5} e le corrispondenti frazioni di polveri ultrafini.

Bibliografia

- [1] E Stanley Manahan. *Environmental chemistry*, Lewis Publishers, Chelsea, 1991.
- [2] *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. United States Environmental Protection Agency; vol I, 1999
- [3] R.H. Harrison. *Pollution, causes, effects and control*. Royal Society of Chemistry. Cambridge, 1990; 167-169
- [4] cfr. V. Carassiti, *Annali di Chimica*, 1997, **11-12**, 657-666.
- [5] M. Matti Mariq, *Environmental science and technology*, 1999, **12**, 2007-2015.
- [6] U. Matter and H.C. Siegmann, *Environmental science and technology*, 1999, **11**, 1946-1952.
- [7] R. Lauwerys, *Manuale di*

tossicologia industriale e delle intossicazioni professionali, Casa Editrice Ambrosiana Milano, 1980, 398-402.

[8] *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. United States Environmental Protection Agency; vol II, 1999

[9] R. Koeber, J. M. Bayona, R. Niessner, *Environmental science and technology*, 1999, **10**, 1552-1558.

[10] A.H. Miguel, T. W. Kirchstetter, R. A. Harley and S. V. Hering, *Environmental science and technology*, 1998, **4**, 450-455.

[11] M.J. Kleeman et al., *Environmental science and technology*, 2000, **7**,

1132-1142

[12] *Diesel Emission Control Strategies*, ESI International, Washington, 1999

[13] V. Wongphatarakul, S. K. Friendlander, J.P. Pinto, *Environmental science and technology*, 1998, **24**, 3926-3934.

[14] A. D'Alessio, A. D'Anna, G. Gambi, P. Minutolo, L.A. Sgro, A. Violi, *La Chimica e l'Industria*, 1999, **8**, 1001-1006

[15] B.J. Turpin, *Environmental science and technology*, 1999, **3**, 76A-79A.

[16] J.O. Allen, *Environmental science and technology*, 1998, **13**,

1928-1932.

[17] L.S. Hughes, G.R. Cass, J. Gone, M. Ames, Olmez, *Environmental science and technology*, 1998, **9**, 1153-1175.

[18] *Health costs due to road traffic-related air pollution*, World Health Organization, Regional office for Europe, 1999

[19] C. Galassi et al., *ISEE 2000*, Buffalo, New York, USA, August 19-22, 2000

[20] M.J. Kleeman, G.R. Cass, *Environmental science and technology*, 1999, **1**, 177-189.

Recensione

A Question of Chemistry: Creative Problems for Critical Thinkers di John Garratt, Tina Overton, Terry Threlfall, Pearson Education Ltd.: Essex, England, 1999, pp. xii + 162, ISBN 0-528-29838-5, £ 12,99; in broccura.

Ci sono molti buoni testi sui problemi chimici e forse ci si può chiedere che bisogno c'è di recensire questo libro: cercherò di convincervi che questo volumetto è completamente e distintamente diverso dai molti libri in commercio e il sottotitolo ne evidenzia la positiva diversità e quasi unicità. I nostri studenti sono abituati a svolgere problemi che richiedono un risultato numerico come risposta: gli esercizi riportati in questo libro in genere non richiedono calcoli, con la possibile eccezione della parte riguardante gli equilibri ("back-of-the-envelope calculation"). Desiderio degli autori è che gli studenti imparino come ragionare e non solamente su cosa ragionare. Attraverso questi problemi gli studenti vengono incoraggiati a ragionare come fanno gli scienziati e imparano che molte questioni interessanti possono essere affrontate in differenti maniere e che i problemi reali spesso non hanno un'unica risposta.

A Question of Chemistry è organizzato in cinque sezioni e ciascuna contiene diversi problemi concettuali che riguardano un po' tutti gli aspetti del-

la chimica. In ogni sezione si trovano dei problemi facili, sebbene mai banali, collocati all'inizio nelle sezioni, e dei problemi che costituiscono una sfida per gli studenti e forse anche per i docenti. In ogni sezione si trovano problemi di chimica organica, chimica inorganica, chimica fisica, chimica analitica e chimica biologica; volutamente gli autori non hanno suddiviso le questioni attraverso queste usuali categorie sia per la loro convinzione dell'arbitrarietà e artificiale suddivisione della scienza, sia perché in molti casi assegnare un problema ad una certa categoria non è un'impresa facile.

Nella prima sezione, *Understanding an argument*, sono riportati 30 esercizi. La discussione trattata negli esercizi non riguarda una controversia, ma la valutazione critica di un ragionamento concatenato; possiamo convenire che i nostri studenti non sono abituati a valutare un'argomentazione scientifica e a spiegarne le conclusioni. Ogni esercizio viene fatto seguire da quattro o cinque affermazioni e il compito consiste nello scegliere quella che:

più rafforza il ragionamento;
meglio identifica il difetto o la debolezza nel ragionamento;
più indebolisce il ragionamento;
meglio identifica un'assunzione implicita nel ragionamento.

Ciò che rende a volte difficili questi esercizi è che le affermazioni riportate, oltre che essere vere, non sempre sono irrilevanti. In questa sezione ci si stupirà di trovare una discussione sul sangue di S. Gennaro.

Nella sezione seguente, *Constructing*

an argument, sono riportati 40 esercizi e ogni esercizio è formato da tre affermazioni. Il compito consiste nell'arrangiare la successione di queste frasi in modo da formare un'argomentazione che conduce ad una conclusione logica. La costruzione logica di un argomento fa parte del processo di interpretare le osservazioni sperimentali, collegarle con quanto già conosciuto e comunicarle ad altri. Questi esercizi sono formati da tre possibili strutture:

X, Y, perciò è vero Z;

X, Y, questo illustra o dimostra Z;

X, Y, questo spiega perché Z.

Nei problemi di inferenza logica è dove sono andato meglio: non ho difficoltà ad ammettere di aver sbagliato qualche risposta.

La terza sezione, *Critical reading*, riporta 37 esercizi, tutti tratti da libri, giornali scientifici, manuali o riviste. Gli autori precisano che il significato di "critico" deve essere inteso come 'con attenzione' e hanno escluso brani con errori, ambiguità, doppi sensi, scritti in una forma poco chiara o comunque non soddisfacente. A volte la lettura comporta l'interpretazione del testo, specie quando i bisogni del lettore non trovano una corrispondenza nelle parole scritte. Interpretare significa rispondere a delle domande.

L'autore ha fatto delle assunzioni circa le conoscenze del lettore, riguardo alla conoscenza di fatti o di principi che voi in realtà non conoscete?

Vi rendete conto di come le nuove idee si integrano con quanto già conoscete?



Continua a pag. 69

Degradazione della lignina con ossigeno singoletto

Riassunto

Negli anni scolastici 97-98; 98-99: 99-2000 è stata svolta un'attività di ricerca comune tra il dipartimento di Chimica dell'Università della Basilicata e le classi quinte dell'ITIS A. Einstein di Corleto Perticara (PZ). L'attività di ricerca si è basata sullo studio di processi degradativi di un importante inquinante industriale "la lignina" con acqua ossigenata e ipoclorito di sodio e per via fotocinematica.

Le tappe fondamentali dell'attività di ricerca sono state:

- 1) definizione del progetto;
- 2) studio di fattibilità;
- 3) messa a punto delle metodologie;
- 4) valutazione dei risultati e presentazione degli stessi.

Abstract

In 97-98, 98-99 and 99-200 school years the Chemistry Department of the University of Basilicata and the last class of the IT IS A. Einstein of Corleto Perticara (PZ) carried out a joint research. This research consisted in the study of the degradative processes of lignin, an important industrial pollutant, by using both hydrogen peroxide and sodium hypochlorite and light. The fundamental steps of the research were:

- 1) definition of the project;
- 2) feasibility study;
- 3) individuation of the different methodologies;
- 4) estimation and presentation of the results

GIOVANNI BENTIVENGA^(*)
MAURIZIO D'AURIA^(**)

Definizione del progetto e studio di fattibilità

La lignina è un polimero tridimensionale a struttura fenilpropanoide (Figura 1) [1] in cui le diverse unità monomeriche sono unite fra di loro attraverso legami eterei difficilmente idrolizzabili. La lignina svolge un'importante funzione biologica creando la struttura rigida di supporto di tutte le piante note. D'altra parte, i processi attualmente in uso per la produzione della carta considerano la lignina un prodotto di scarto non desiderato, che con la quantità (ca. il 35% della cellulosa estratta) può creare nu-

merosi problemi dal punto di vista ambientale [2-5].

Di fatti, lo smaltimento della lignina o viene fatto in discarica con tutti i problemi connessi alla grande quantità di materiale da trattare o viene decomposto attraverso trattamenti con acidi forti, in tutti i casi si tratta di processi ad alto impatto ambientale.

Finalità didattica di questo progetto era quella di coinvolgere gli studenti in una vera attività di ricerca, dove parte dell'attività stessa veniva affidata all'esecuzione degli studenti stessi e dove i risultati della stessa venivano riportati e discussi con gli studenti stessi.

Finalità scientifica di questo progetto è stata quella di verificare se l'ossidazione della lignina via ossigeno singoletto poteva rappresentare un'utile alternativa ed essere modello

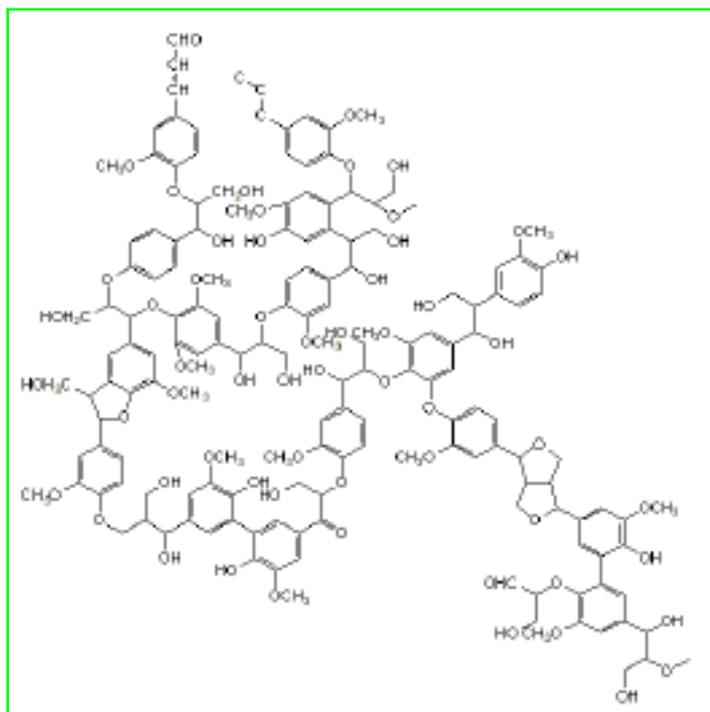


Figura 1 - Modello della lignina dell'abete

(*) ITIS "A. Einstein" Via P. Lacava, 85012 Corleto Perticara, POTENZA

(**) Dipartimento di Chimica, Università della Basilicata, Via N. Sauro 85, 85100 POTENZA

e-mail: dauria@unibas.it

di un nuovo processo di trattamento della lignina caratterizzato da un basso impatto ambientale. In primo luogo chiariamo cosa indichiamo per ossigeno singoletto.

L'ossigeno atomico ha una configurazione elettronica $2s^2 2p^2 2p^2$, presenta cioè 4 elettroni su orbitali p . Quando due atomi di ossigeno si uniscono per formare la molecola di ossigeno i tre orbitali p di ogni atomo si fondono per dare sei orbitali molecolari, tre leganti e tre antileganti. Gli orbitali leganti vengono riempiti con sei elettroni, ma gli elettroni in gioco in tutto sono otto: ne consegue che vengono occupati anche orbitali antileganti. Dato che i primi due orbitali sono degeneri (alla stessa energia) questi due orbitali vengono occupati ognuno da un elettrone con lo stesso spin. Per questo l'ossigeno è paramagnetico ed è molto reattivo: è un biradicale. Dato che i due elettroni spaiati hanno lo stesso spin, definiremo questa molecola ossigeno tripletto.

Se si fornisce energia all'ossigeno questo può passare ad occupare una configurazione elettronica diversa in cui un solo orbitale antilegante è occupato da due elettroni con spin opposto e l'altro orbitale è vuoto. La specie che ha questa configurazione elettronica viene detta ossigeno singoletto e presenta 94,7 kJ/mole in più della precedente.

Nel nostro progetto abbiamo cercato di verificare se l'ossidazione della lignina via ossigeno singoletto poteva rappresentare un'utile alternativa ed essere modello di un nuovo processo di trattamento della lignina caratterizzato da basso impatto ambientale.

L'ossigeno singoletto può essere generato per via chimica e per via fotochimica. Nel primo caso si può far reagire l'acqua ossigenata con ipoclorito di sodio: questa reazione porta alla formazione di acqua, cloruro di sodio e ossigeno singoletto. Per via fotochimica la cosa è un po' più complessa. Si fa uso di una specie chimica, detta sensibilizzatore, che assorbe la radiazione. Generalmente si usa un colorante (nel nostro caso il Rosa Bengala). L'assorbimento della luce porta il sensibilizzatore da uno stato fondamentale di singoletto al primo stato eccitato di singoletto: un elettrone, cioè, viene portato su un orbitale molecolare antilegante (non occupato nello stato fondamentale)

mantenendo lo stesso spin. Questo stato può interconvertirsi in uno stato di tripletto a più bassa energia, dove sono sempre occupati gli stessi orbitali, ma gli spin degli elettroni spaiati sono paralleli. Questa specie vive più a lungo e può interagire con l'ossigeno nel suo stato fondamentale (tripletto) cedendogli la sua energia. Così il sensibilizzatore torna al suo stato fondamentale mentre l'ossigeno acquista quell'energia che gli permette di trasformarsi nell'ossigeno singoletto.

L'ossigeno singoletto raramente è stato oggetto di studio nel campo della lignina. Alcuni anni fa, nell'ambito della discussione di processi di ossidazione della lignina, utilizzando modelli di tipo stilbenico, alcuni autori riportarono che forse l'ossigeno singoletto era coinvolto nei processi di ossidazione attraverso la formazione di un intermedio di tipo endoperoxido, che, per decomposizione, portava a prodotti derivanti dalla rottura del doppio legame carbonio-carbonio [6].

Successivamente, in un contesto completamente diverso, dato che l'oggetto dello studio erano i processi di cambiamento di colore derivanti da esposizione alla luce della pasta di cellulosa, si vide che l'irradiazione di composti modello del tipo **1** a 300 e 350 nm in presenza di ossigeno por-

La formazione di questi prodotti fu spiegata assumendo che avvenisse una rottura del legame C-O in β nello stato di singoletto o di tripletto eccitato di **1** per dare il corrispondente radicale fenacilico. L'interazione di questo intermedio con ossigeno portava alla formazione dei prodotti osservati. In tutti queste prove su modello il processo di β -C-O cleavage è stato sempre considerato il processo fotochimico primario, mentre l'ossigeno singoletto veniva invocato solo nei processi di ossidazione delle funzioni fenoliche [10-13].

Qui vogliamo riportare alcuni risultati ottenuti su lignina provenienti da processi di steam explosion e su lignina Klason e che dimostrano che l'ossigeno singoletto potrebbe essere utilmente sfruttato al fine di favorire la degradazione della lignina. Del processo di steam explosion parleremo nel prossimo paragrafo. La lignina Klason è un tipo particolare di lignina che si ottiene per trattamento acido in condizioni molto drastiche della biomassa che viene trattata (per esempio legno o paglia). Questa lignina, al contrario di quella proveniente dal processo di steam explosion, è un polimero con un peso molecolare molto alto, e quasi insolubile, e molto difficile da degradare. Al contrario della lignina da steam explosion, che ci è stata fornita dai laboratori del-

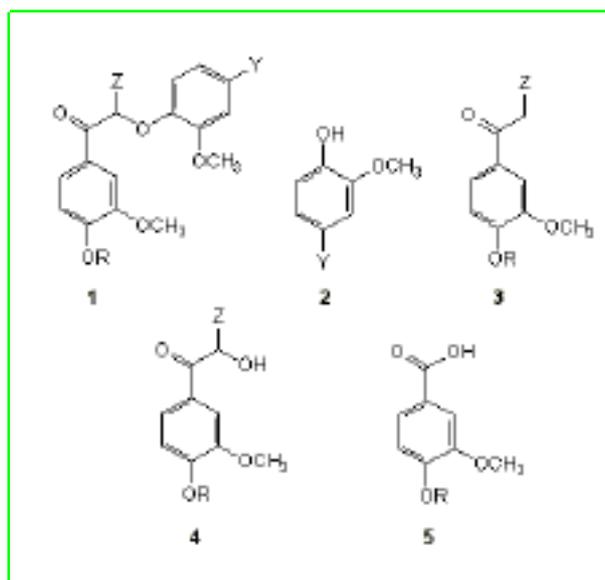


Figura 2

tava ai prodotti derivanti dalla rottura del legame etero quali **2**, **3**, **4** e **5** insieme a piccole quantità di prodotti fenolici derivanti dall'ossidazione dell'anello aromatico (Figura 2) [7-9].

l'ENEA del Centro di Ricerca della Trisaia, la lignina Klason è stata preparata direttamente dagli studenti e su di questi hanno provato la prima reazione di degradazione.

si ottengono quattro frazioni. L'attività sperimentale è stata realizzata presso l'ITIS, mentre il successivo controllo in GC-MS è stato realizzato presso l'Università.

L'analisi delle quattro frazioni mediante analisi GC-MS dà i seguenti risultati. La frazione 1 contiene quattro picchi principali. Il primo ha tempo di ritenzione di 4.75 min. ed è stato identificato come di-*n*-butilammina. Il secondo picco ha tempo di ritenzione 12.68 min.: questo composto, sulla base del suo spettro di massa è stato identificato come il 2,4-diottilfenolo.

La seconda frazione mostra la presenza di tre picchi di cui due sono stati identificati: il primo picco mostra un tempo di ritenzione di 12.34 min. e può essere identificato come l'alcol *trans*-3,5-dimetossi-4-idrossicinnamico (alcol sinapilico) (Figura 4). Il secondo picco presenta una spettro di massa identico a quello del composto identificato come 2,4-diottilfenolo.

La terza frazione contiene molti picchi in cui siamo stati in grado di identificare solo l'alcol sinapilico e il 2,4-diottilfenolo. La quarta frazione contiene un solo picco, quello del 2,4-diottilfenolo.

L'irradiazione dello lignina per tre ore porta all'ottenimento di due frazioni. La prima frazione contiene un solo composto il cui spettro di massa corrisponde a quello della 4-idrossi-3,5-dimetossibenzaldeide. La seconda frazione contiene solo l'alcol sinapilico.

Il trattamento della lignina per 5 ore porta all'isolamento di quattro frazioni. Le prime tre contengono solo l'estere metilico dell'acido deidroabietico (Figura 5). Nella quarta frazione abbiamo trovato il 2,4-diottilfenolo e lo stesso metil estere dell'acido deidroabietico.

Dopo otto ore di irradiazione si ottengono per separazione cromatografica tre frazioni. La prima contiene la 4-idrossi-3,5-dimetossibenzaldeide e l'alcol sinapilico, mentre le altre frazioni contengono solo l'alcol sinapilico.

Dopo dodici ore di irradiazione la separazione cromatografica porta all'isolamento di tre frazioni: la prima contiene 1-ottadecene, ottadecano e 1-eicosanolo, mentre le altre frazioni contengono solo alcol sinapilico.

62 Infine, dopo ventiquattro ore, si ottiene un residuo la separazione cromatografica, porta all'isolamento di alcune frazioni.

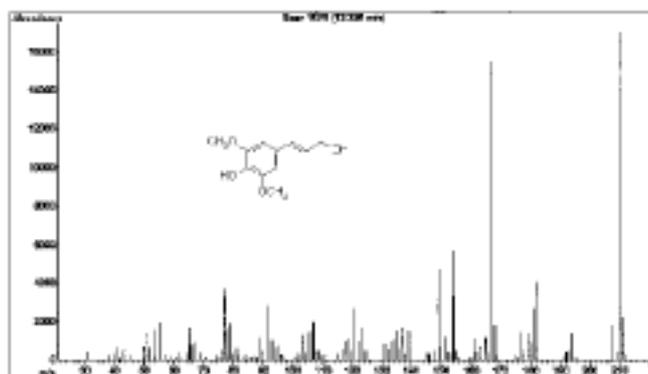


Figura 4 - Spettro di massa dell'alcol sinapilico

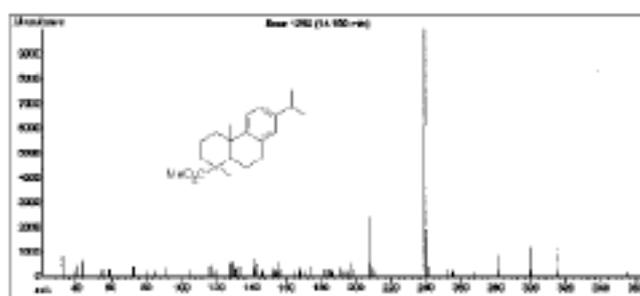


Figura 5 - Spettro di massa dell'estere metilico dell'acido deidroabietico

Nella prima troviamo:

$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$,
 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{OCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$,
 vanillina, 2,5-dimetossiidrochinone,
 acido palmitico e alcol sinapilico.

Nelle frazioni 2-4 non abbiamo trovato nulla di interessante. Invece, nella frazione 5 abbiamo trovato 2-fenildecano, 6-feniltridecano, 5-feniltridecano, 4-feniltridecano, 3-feniltridecano e 2-feniltridecano.

Il fatto che si possano ottenere prodotti chimici da un prodotto di scarto, apre la via a un possibile uso dei processi degradativi per l'ottenimento di prodotti ad alto valore aggiunto. E' bene notare che le caratteristiche antiossidanti di molti fenoli fanno pensare (e alcuni studi sono stati realizzati a tal proposito) ad una possibile utilizzazione della lignina e dei suoi derivati in campo farmaceutico.

Obiettivi raggiunti

Dal punto di vista educativo questa esperienza ha stimolato i ragazzi a lavorare in modo creativo, pratico e analitico nello stesso tempo, favorendo scambio di informazioni e l'apprendimento del lavoro di gruppo. Ha inoltre permesso di raggiungere i seguenti obiettivi:

a) Inserimento di una serie di tecni-

che analitiche strumentali chimiche : cromatografia su colonna, GLC, TLC e GC-MS;

b) Utilizzo di strumenti di ricerca tradizionali e non , testi, riviste specializzate internet;

c) Come organizzare una ricerca;

d) Rilevare dati attraverso indagini sperimentali;

e) Interpretazione dei dati rilevati;

f) Raccogliere i contributi individuali in un lavoro di gruppo;

g) Esporre in modo dettagliato il lavoro svolto;

h) Potenziamento della lingua inglese perché le riviste consultate erano in lingua inglese.

Inoltre ha aumentato la loro capacità critica, la loro competenza e la consapevolezza dei molteplici punti di vista dai quali si può analizzare un problema.

Il lavoro finale è stato valutato attraverso gli obiettivi operativi individuali, ed è stato attribuito a ciascun alunno un punteggio valido ai fini del credito per l'esame di stato.

Parte Sperimentale

Procedura sperimentale n°1 Lignina Klason da una biomassa

Un grammo di legno di faggio o di pino macinato (40 mesh 0,5 mm) viene posto in un soxhlet con dell'ovatta; in un altro soxhlet viene messo solo ovatta (bianco) e si procede all'estrazione. La prima estrazione viene fatta con 200 mL d'etanolo al 95% per otto ore, la seconda estrazione viene fatta con 200 mL di cloruro di metilene per otto ore, infine la terza estrazione viene fatta con 200 mL di una miscela etanolo/toluene nel rapporto 1:2 per altre otto ore. Si pesa tutto prima e dopo l'estrazione. Gli estratti vengono portati a secco con la pompa da vuoto e pesati.

Il solido rimasto dopo la terza estrazione (lignina) viene pesato, si versa in un becker e viene trattato con 15 mL d'acido solforico al 72% per due ore in agitazione.

Si diluisce l'acido solforico al 3% con 545 mL d'acqua distillata, si travasa il tutto in una beuta e si fa bollire per 4 ore mantenendo costante il volume con acqua distillata. Alla fine si filtra su filtro g.f.a. e la lignina Klason estratta si secca in stufa a 110 °C e si pesa.

Prove di solubilità

Le prove di solubilità sono state fatte su 10 mg di sostanza con una miscela d'etanolo e acqua nel rapporto 2:8 e con acetonitrile ed etanolo nel rapporto 1:1.

La lignina estratta sia dal pino che dal faggio si è sciolta in acetonitrile ed etanolo 1:1; su questa soluzione è stato fatto uno spettro UV.

Reazione di degradazione con ipoclorito di sodio e acqua ossigenata

Alla soluzione in etanolo-acetonitrile contenente 20 mg di lignina viene addizionato 1 ml d'acqua ossigenata al 30% (9,4 mmoli) ed un mL d'ipoclorito di sodio 1,093 M (1,03 mequivalenti) goccia a goccia sotto agitazione per 6 ore. Lo stesso procedimento viene eseguito su altri 20 mg di lignina con 4 mL d'acqua ossigenata e 4 mL d'ipoclorito di sodio; i due trattamenti vengono fatti sia sulla lignina estratta dal pino e sia su quella estratta dal faggio.

La soluzione dopo agitazione viene filtrata, viene allontanato il solvente per essere sicuri che è stato eliminato completamente l'acqua ossigenata e l'ipoclorito di sodio in eccesso, il residuo viene sciolto nel solvente (etanolo-acetonitrile) e su questa soluzione vengono fatti gli spettri UV. Gli spettri della lignina tal quale e

Marzo - Aprile 2001

quella della stessa trattata con acqua ossigenata e ipoclorito di sodio sono completamente differenti a dimostrazione della avvenuta degradazione.

Procedura sperimentale n° 2 Degradazione della lignina in carta riciclata con acqua ossigenata e ipoclorito di sodio

I° trattamento:

sono stati pesati 1,0145 g di carta riciclata ed è stata trattata con 0,5 mL di acqua ossigenata al 30% e 0,5 mL di ipoclorito di sodio 1,093 M per 3 ore. Quindi si filtra, ed il residuo viene seccato in stufa a 110 °C per una notte, infine pesato.

La perdita di peso era 0,0853 g

$$\% = \frac{0,0853 * 100}{1,0145} = 8,41 \%$$

II° trattamento:

sono stati pesati 1,0458 g di carta ed è stata trattata con 1 ml di acqua ossigenata ed 1 mL di ipoclorito di sodio allo stesso modo.

La perdita di peso era 0,1225 g

$$\% = \frac{0,1225 * 100}{1,0458} = 12\%$$

III° trattamento:

sono stati pesati 1,0307 grammi di carta ed è stata trattata con 2 mL di acqua ossigenata e 2 mL di ipoclorito di sodio.

La perdita di peso era 0,1564 g

$$\% = 0,1564 * 100 = 15,17\%$$

Il colore della carta dopo trattamento era marrone molto chiaro.

Procedura sperimentale n°3 Degradazione fotochimica della lignina proveniente da steam explosion

Sono stati pesati 100 mg di lignina proveniente da steam explosion e sciolti in alcool etilico-acetonitrile 1:1, sulla soluzione ottenuta è stato fatto lo spettro UV.

La soluzione è stata messa a reagire con il colorante ROSA BENGALA in un pallone a tre colli sotto agitazione e in corrente di ossigeno sotto le radiazioni emesse da una lampada a incandescenza da 100W per 24 ore.

Dopo sono stati fatti uno spettro UV

e delle lastre di gel di silice, per verificare se la reazione era avvenuta, mettendo a confronto la lignina, il colorante e la miscela di reazione usando come fase mobile una soluzione di alcool etilico e cloroformio in varie proporzioni. Questa separazione avveniva con una soluzione al 30% di alcool etilico in cloroformio.

La separazione vera e propria è stata fatta su colonna di gel di silice ottenendo sei frazioni. La quinta frazione è stata eluita con alcool metilico, la sesta frazione è stata separata per estrusione, la sostanza mescolata con la fase fissa è stata separata facilmente mediante estrazione con alcool metilico e filtrazione. Su queste sei frazioni sono stati fatti spettri UV e Gas-massa.

Inoltre le frazioni n°4 e n°5 che sembravano essere interessanti, sono state ulteriormente frazionate e purificate sempre su colonna di gel di silice, usando come fase mobile una miscela di cloroformio e alcool metilico nel rapporto 6:4

Da questa separazione sono state ottenute per la n° 4 altre tre frazioni sulle quali sono stati fatti spettri UV, Gas-Massa e NMR.

La frazione n°5 è stata solo purificata su colonna di gel di silice con una miscela di cloroformio alcool etilico in un rapporto 7:3, anche su questa frazione sono stati fatti spettri UV, NMR e Gas-Massa.

Procedura sperimentale n°4 Degradazione fotochimica della lignina esplosa a diversi tempi d'irradiazione

Sono state condotte delle degradazioni fotochimiche a diverse tempi di irradiazioni e precisamente: 1 ora, 3 ore, 5 ore 8 ore e 12 ore con la stessa procedura descritta per la reazione della durata di 24 ore. Questo per vedere la presenza di composti diversi a diversi tempi di reazioni. I composti ottenuti sono stati caratterizzati mediante spettri UV, e GC-MS.

Riferimenti bibliografici

- [1] E. Adler, *Wood Sci. Technol.*, 1977, **11**, 169.
- [2] W. Haible, *Wochenbl. Papierfabr.*, 1991, **119**, 933; *Chem. Abstr.*, 1992, **116**, 157719c.
- [3] P. Rosenthal, *Wochenbl. Papierfabr.*, 1991, **119**, 951; *Chem. Abstr.*, 1992, **116**, 157720w.

CnS - La Chimica nella Scuola

[4] B. Hultman, *Ind. Carta*, 1992, **30**, 435.
[5] O. A. Terentyev, I. V. Kudryavtseva, *Chem. Sustainable Dev.*, 1993, **1**, 229; *Chem. Abstr.*, 1995, **122**, 293695t.
[6] G. Gellerstedt, E. -L. Petterson, *Acta Chem. Scand.*, 1975, **B29**, 1005.
[7] C. Vanucci, P. Fournier de Violet, H. Bouas-Laurent, A. Castellan, *J. Photochem. Photobiol., A: Chem.*,

1988, **41**, 251.
[8] A. Castellan, N. Colombo, C. Cucuphat, P. Fournier de Violet, *Holzforchung*, 1989, **43**, 179.
[9] A. Castellan, J. N. Zhu, N. Colombo, A. Nourmamode, R. S. Davidson, A. Dunn, *J. Photochem. Photobiol., A: Chem.*, 1991, **58**, 263.
[10] D. S. Argyropoulos, Y. Sun, *Photochem. Photobiol.*, 1996, **64**, 510.

[11] M. G. Neumann, A. E. H. Machado, *J. Photochem. Photobiol., B: Biol.*, 1989, **3**, 473.
[12] W. U. Palm, H. Dreeskamp, *J. Photochem. Photobiol., A: Chem.*, 1990, **52**, 439.
[13] A. E. H. Machado, R. Ruggiero, M. G. Neumann, *J. Photochem. Photobiol., A: Chem.*, 1994, **81**, 107.

ESPERIENZE E RICERCHE

Gli studenti fanno divulgazione Dalla coltivazione dei cristalli a una mostra aperta al pubblico

Riassunto

In un biennio di due ITIS di Roma si è sperimentato per due anni un nuovo approccio divulgativo insieme agli studenti con l'obiettivo di introdurre allo studio dei legami chimici attraverso la preparazione di monocristalli di sostanze comuni da esporre successivamente in una Mostra. Le caratteristiche della preparativa permettono di cadenzare il lavoro su tempi lunghi (fino all'intero anno scolastico) rendendo possibili intanto collegamenti trasversali con il programma svolto. L'arco di competenze richieste per lavorare efficacemente, spaziando da abilità manuali fino a capacità di astrazione e di collegamenti logici, rappresenta un valido aiuto anche al progetto di integrazione di alunni con diversi tipi di svantaggio.

Si riportano di seguito cenni sugli aspetti didattici e organizzativi dell'iniziativa e si indicano inoltre alcuni dettagli sul contenuto dei poster usati nella Mostra elencando anche una selezione di citazioni sui cristalli nell'antichità a cui seguono le schede operative degli studenti sul modo in cui coltivare alcuni cristalli di sostanze comuni.

Abstract

A new approach to the study of the chemical bond has been experimented in the first two classes of a

MICHELE DEBEGNACH^(*)

Technical Institute inviting students (14-15 years old) to search for the best methods of preparing single crystals of common chemicals to be later displayed in an exhibition.

The characteristic features of preparations give the teacher the opportunity of organizing work on a long term (up to the whole year) which makes it possible to realize links with the curriculum as this develops.

The wide range of skills required in order to work properly, from handicraft to abstraction and logical processes, is also a strong aid to the integration of students with different sorts of handicap.

Didactical and organizing aspects are reported and some examples of quotations about crystals in ancient times are given. A set of crystals recipes written by students themselves follows, containing instructions for the growing of crystals of some common substances.

1. Premessa

L'approccio ai legami chimici è stato per lungo tempo quello di introdurre prima di tutto i legami polari ricorrendo alle esperienze di laboratorio sulla deviazione di getti di liquidi in fili sottili sottoposti ai campi elettrici ottenuti per strofinio. Facevano seguito le esperienze sulla conducibilità dei

liquidi puri e delle soluzioni che permettevano di passare agli ioni e quindi al legame ionico. Una più allargata presa di coscienza intorno ai problemi ambientali e di tossicità ha fatto ingresso anche nei nostri laboratori scolastici facendoci riflettere sulla pericolosità dei solventi impiegati (benzene, metanolo). Così ne abbiamo ridotto drasticamente la quantità e poi siamo passati alle esperienze solo dimostrative ed eseguite sotto cappa.

A questo punto però perché non tentare piuttosto di cambiare completamente percorso?

Abbiamo scelto di provare con la coltivazione dei cristalli perché è un argomento che da un lato attrae per il fascino esercitato dallo spettacolo della straordinaria precisione geometrica con cui si presentano i cristalli, dall'altro fornisce all'insegnante numerosi spunti per un approccio alla teoria dei legami chimici e al vasto mondo degli usi industriali e della mineralogia.

2. La coltivazione dei cristalli

2.1 Obiettivi didattici: gli studenti fanno divulgazione preparando i cristalli da esporre in una Mostra.

Le abilità manuali richieste e le possibilità di approfondimento a livello teorico e pratico spaziano in un ampio intervallo per cui questo percorso, con opportuni adattamenti, può essere ugualmente utile a livelli diversi di apprendimento, dalla scuola elementare fino alle scuole superiori. Il progetto è stato sperimentato all'in-

terno del programma di chimica per studenti del biennio degli ITIS Fermi e Pascal di Roma e la Mostra ha avuto luogo durante la Settimana della Cultura Scientifica all'interno delle iniziative promosse da MUSIS (Museo della Scienza e dell'Informazione Scientifica a Roma) che ha fornito sostegno organizzativo all'impresa. La Mostra è rimasta attiva una settimana in ciascuna scuola, coinvolgendo con successo un ampio pubblico di studenti e di non addetti ai lavori in due popolosi quartieri di Roma.

2.2 Come abbiamo lavorato

All'inizio dell'anno scolastico si è avviata una discussione con gli studenti delle classi prime e seconde, proponendo loro di affrontare lo studio di una parte del programma dedicandosi ad un lavoro sperimentale affascinante e impegnativo cioè la preparazione di cristalli.

Il risultato dei lavori di tutto l'anno sarebbe esposto alla cittadinanza in una Mostra durante la Settimana della Cultura Scientifica.

La maggioranza degli studenti ha aderito con entusiasmo, una sola classe invece non ha dimostrato il minimo interesse e non ha accettato la proposta.

Abbiamo deciso, insieme agli studenti, di restringere il campo di lavoro dedicandoci all'obiettivo ben delimitato di preparare cristalli singoli i più puri e grandi possibili, a partire dalla preparazione delle soluzioni sature e dei germi cristallini necessari, preparazione che è avvenuta in una prima fase nel laboratorio di chimica in modo da consentire all'insegnante di mettere tutti gli studenti in grado di svolgere in modo autonomo le manipolazioni necessarie.

I primi cristalli da mettere in coltivazione sono stati quelli di sale da cucina, una sostanza facilmente disponibile in casa e che non presenta problemi particolari perché non macchia, non è tossica ed è molto economica. La tecnica è stata quella dell'evaporazione da soluzioni sature, sia per preparare i germi cristallini che per farli crescere.

A questo scopo abbiamo preparato piccoli cristallini cubici di NaCl (germi cristallini) che sono poi stati immersi nella soluzione satura dove, sempre per evaporazione a temperatura ambiente, i germi cristallini hanno cominciato la loro lenta e difficile crescita. I compiti assegnati allo studente sono

stati quello di ripristinare il livello della soluzione satura e quello di ripulire ogni giorno i germi cristallini dalle eventuali incrostazioni. Ma durante il lavoro sono sorti imprevisti che gli studenti hanno dovuto affrontare con uno sforzo personale creativo e motivato. La relativa facilità operativa ha permesso di occuparsi di questi problemi a casa superando così il problema delle lunghe attese (24 ore) tra un intervento operativo e l'altro.

Le caratteristiche di questo tipo di attività hanno consentito agli studenti di prendere dimestichezza in modo spontaneo e creativo con tecniche di base utili alla risoluzione di problemi pratici legati al loro lavoro come la preparazione di una soluzione satura, uso della bilancia, misura e trasferimento di volumi di soluzioni, filtrazione, il riconoscimento delle variabili da tenere sotto controllo come le polveri atmosferiche e la velocità di evaporazione.

Si è così acquisito il concetto operativo di soluzione satura, ponendosi nello stesso tempo con curiosità il problema del perché le sostanze abbiano un limite alla loro possibilità di disciogliersi in un solvente. Si è notata la realtà, sperimentale, della costanza della forma (cubica) di questi cristalli in tutte le fasi della crescita (osservazioni al microscopio in laboratorio), si è imparato che nascita e crescita dei cristalli sono fenomeni spontanei (la forma geometrica dei cristalli non è il risultato, come per i gioielli, di una lavorazione) ed è rimasta aperta la domanda su quale possa essere comunque la causa di questo comportamento della materia.

Queste prime domande, nate dai problemi concreti incontrati, hanno continuato poi con il progredire del lavoro a generarne altre a cascata dando agli studenti aspettativa e motivazione su tutta una serie di questioni scientifiche e non solo.

I cristalli di sale da cucina si accrescono però con molta lentezza, danno facilmente incrostazioni e non si riesce comunque a far loro superare la dimensione di qualche millimetro per spigolo (sono stati infatti molto apprezzati i grandi cristalli naturali di NaCl e KCl esposti al Museo di Mineralogia di Roma!).

Perciò, dopo qualche settimana, mentre i soliti due o tre più bravi e costanti continuavano con successo e senza problemi a curare la crescita dei propri esemplari, prima che lo scon-

forto si potesse impadronire invece degli altri, siamo passati ad una seconda sostanza, lo zucchero (saccarosio), anche questo disponibile in cucina, un po' più costoso del sale, più difficile da maneggiare, (infatti si sono dovute "inventare" tecniche adatte a manipolare le soluzioni di zucchero, dense e sciroppose, nelle quali i germi tendono addirittura a galleggiare). Questa soluzione è capace di formare cristalli singoli fino a 1-2 cm in solo qualche settimana.

Qualcuno di questi splendidi monocristalli di zucchero si è sfortunatamente dissolto nel tentativo di farlo crescere ulteriormente fornendoci però l'estro per capire che eravamo saliti a un livello di maggiore difficoltà operativa: c'era da affrontare il nuovo e delicato problema del controllo della temperatura.

Non tutti gli studenti hanno saputo padroneggiare la nuova situazione che si era così presentata e abbiamo allora deciso, per venire loro incontro, di passare dal lavoro a casa a quello controllato in laboratorio dove è possibile aiutarsi a vicenda e, dopo un sufficiente numero di tentativi infruttuosi, abbiamo fornito una nuova sostanza, il solfato di rame, una sostanza un po' tossica, nota ad alcuni studenti come anticrittogamico usato per le viti in campagna.

Alla sensibilità alla temperatura, già sperimentata con lo zucchero, questa sostanza aggiunge aggressività chimica nei confronti di certi recipienti metallici e capacità di macchiare le unghie, la pelle e gli abiti. Tutte queste difficoltà sono state compensate dalla comparsa nei cristallizzatori di tutta la classe di magnifici monocristalli azzurri, a forma di rombo, che in pochi giorni hanno raggiunto senza troppi problemi le dimensioni di qualche centimetro.

Sull'onda di questo risultato gli studenti sono passati alla coltivazione dei cristalli di allume, molto sensibili alla temperatura, capaci di dissolversi rapidamente, ma nello stesso tempo di crescere in maniera ragguardevole in tempi brevi e gli studenti hanno escogitato tecniche di raffreddamento per ottenere, da un giorno all'altro, ottaedri trasparenti e limpidi grandi fino a qualche centimetro.

Alcuni tra i più abili si sono cimentati con il problema di velocizzare la formazione dei germi cristallini di varie sostanze con l'obiettivo di far vedere durante la Mostra la nascita "in diret-

ta” dei cristalli sotto l’obbiettivo di un microscopio.

Questa attività ha permesso di far crescere interessi spontanei anche su tematiche non direttamente chimiche. Così è stato per la scoperta del testo del Neviani, un vecchio insegnante del prestigioso liceo classico della capitale cioè il Liceo Visconti, su di una ipotetica (utopica) vita dei cristalli. Dai contatti che si sono stabiliti con questo Liceo è nata la possibilità di avere libero accesso alla sua collezione di minerali e di aprire una direzione di indagine storica che ci ha fatto conoscere interessanti citazioni di antichi studiosi che avevano anche loro espresso punti di vista a volte vicini a opinioni o idee confusamente espresse dagli studenti stessi, come l’idea appunto che un cristallo possa essere “vivente” o che la straordinaria esattezza geometrica della sua crescita non possa essere spiegata se non invocando un qualche processo “magico”. I colleghi del triennio invece ci hanno dato vecchi componenti circuitali dentro i quali abbiamo rintracciato il “chip”, questo purissimo cristallo metallico, che abbiamo poi esposto e ben volentieri abbiamo lavorato tutti insieme per trovare informazioni sulle tecniche di coltivazione industriale di cristalli per la microelettronica.

Per rispondere alla domanda su come si coltivano i cristalli nei laboratori scientifici siamo andati a chiederlo ai professori di Mineralogia dell’Università di Roma e questi ci hanno spiegato le loro tecniche e ci hanno Mostrato gli enormi cristalli sintetici di quarzo fatti con bomba idrotermale o quelli, altrettanto grandi, di allume di cromo ottenuti per evaporazione da soluzioni sature.

Abbiamo scoperto dei veri appassionati e degli esperti nell’arte di coltivare i cristalli andando al Gruppo Mineralogico Romano ed è lì, ad una loro Mostra, che abbiamo conosciuto un anziano minatore siciliano di solfara che ci ha offerto di buon grado di esporre le sue foto d’epoca che hanno costituito una originale documentazione fotografica sulla vita nelle miniere italiane di inizio secolo. Così abbiamo imparato a vedere il nostro lavoro anche sotto un’altra angolatura imbattendoci in problemi economici, sociali e culturali perché ci sono, è vero, i bellissimoi cristalli di zolfo in esposizione, ma dietro c’è anche un’altra realtà che è la storia, a

volte durissima, di chi ha faticato per estrarli.

Si è trattato di una grande occasione in cui per una volta è venuta meno una certa “separatezza” che si sconta dentro la scuola, confinati nell’aula, e abbiamo respirato l’aria aperta della realtà esterna.

3. Come è stata organizzata la Mostra

Di seguito riportiamo lo schema espositivo della Mostra consistente in postazioni demo, esposizione delle foto di solfatara, vetrine, poster. Ciascuna postazione viene gestita da studenti che a turno ne illustrano ai visitatori le caratteristiche.

3.1 Le postazioni demo

- **computer** con alcuni **CD Rom** sui minerali;
- **demo sulle cristallizzazioni**, con microscopi e soluzioni sature opportune per mostrare in diretta la formazione dei primi germi cristallini
- **demo sulle identificazioni dei minerali**, con poster con alcune tra le principali tecniche di riconoscimento di un campione di minerale
- **collegamento Internet** per collegarsi a una serie di siti sui cristalli e sui minerali e per vedere materiale già registrato.

3.2 Esposizione delle foto di solfatara

Una decina di poster fitti di foto che documentavano la vita dei minatori all’inizio del secolo in Italia, dal lavoro di bambini ai minatori nudi per difendersi dal caldo in fondo a pozzi senza ventilazione sufficiente, a quelli con stracci bagnati stretti in bocca per attenuare l’effetto dell’anidride solforosa sui polmoni.

3.3 Le vetrine

Una serie di vetrine contenevano cristalli fatti dagli studenti, cristalli preparati dagli universitari di Roma con tecniche non alla nostra portata, cristalli trovati in natura da collezioni private e dell’università di Roma. Più precisamente:

- **vetrina 1** - i cristalli coltivati dagli studenti;
- **vetrina 2** - i cristalli artificiali dell’Istituto di Mineralogia dell’Università “La Sapienza” di Roma;
- **vetrina 3** - i minerali del (Gruppo Mineralogico Romano);
- **vetrina 4** - i minerali della collezione storica del Liceo Visconti di Roma;

3.4 I poster

Un discreto numero di poster da noi preparati permetteva una panoramica ampia ed approfondita di argomenti relativi alla chimica dei cristalli e dei minerali e alla utilizzazione di queste tecniche e concetti nell’industria con particolare riguardo al mondo dell’informatica.

Alcuni titoli:

Cristalli in natura

- tra scienza e magia: i cristalli nell’antichità;
- i minerali: dove si trovano;
- i minerali: la chimica dei minerali.

Cristalli fatti dall’uomo

- la scienza dei cristalli: cosa sono i cristalli;
- come riconoscere un cristallo;

La coltivazione dei cristalli

- come si coltivano i cristalli;
- le ricette dei nostri cristalli;

L’industria dei cristalli

- i semiconduttori;
- coltivazione industriale di monocristalli di metalli;
- lavorazione dei monocristalli.

A titolo esemplificativo si riportano degli spunti tratti da alcuni poster.

Dal Poster “*Tra scienza e magia: i cristalli nell’antichità*”

“... *il cristallo non si trova in altro posto se non dove le nevi invernali si accumulano in gran quantità ed è certamente ghiaccio, per questo i greci gli hanno dato il nome cristallo...*” (Plinio il Vecchio, *Naturalis historia*, circa 60 a.C.)

“... *le pietre sono prodotte da germi che si nutrono unicamente di acqua e che acquistano poco a poco la loro solidità e la loro dimensione...*” (Sherley, Londra 1672)

“...*sembra che non si possa dubitare che vi siano delle pietre viventi. ... le diverse specie di piriti, i cristalli di rocca e una infinità di altre pietre hanno bisogno di semi specifici come è il caso dei funghi e dei tartufi... ..il seme delle pietre e dei metalli è una specie di polvere che si stacca da essi mentre sono ancora in vita ... questo pensiero non è affatto nuovo. Plinio dà per certo che Mutanius e Teofrasto hanno creduto che le pietre si riproducano e san Gregorio assicura che ci sono degli Autori che*

affermano che le pietre fanno all'amore..."

(Tournefort, Quelques observations sur l'accroissement et la generation des pierres, A.D.S. 1700/1702)

"... la figura dei cristalli fa parte della natura delle pietre così come accade per le foglie, i fiori e gli alberi. In entrambi i casi si è in relazione con uno spirito architetto e con una facoltà formatrice..." (de Boot, Le parfait joaillier, Lyon 1644)

"... io penso che l'acqua comune sia la sola materia di cui sono fatte le pietre. Questa stupefacente teoria non ha bisogno per essere dimostrata di nessun'altra testimonianza se non quella fornita dai nostri sensi. Infatti vediamo tutti i giorni l'acqua comune tramutarsi in pietre di grandezza e forme differenti..."

(Borrichius, Observations sur la formation des pierres, Actes de Copenhague 1677)

"... gli antichi hanno creduto che le pietre avessero un'anima e che le pietre non fossero che una manifestazione di essa..."

(Venette, Traité des pierres 1702)

"... tutte le volte che lo spirito minerale pietrificante si unisce a un'acqua minerale di grande purezza che non contenga alcuna materia della terra, si formano pietre le cui differenti caratteristiche sono dovute allo spirito formatore..."

(Mathias Tillingis, Sur la formation des pierres 1665)

Dal Poster *"Le nostre ricette per fare i cristalli"*

"...formula chimica: NaCl, cloruro di sodio. I suoi cristalli si presentano con habitus cubico (sistema monometrico), talvolta irregolarmente accresciuti, con le facce incavate a gradinata (a tremie) o con una caratteristica striatura a croce. La cella elementare è formata da ioni Na⁺ e Cl⁻ che si alternano regolarmente nello spazio, ogni ione essendo circondato da sei ioni di segno contrario disposti a 90°.

Si trova cristallizzato in giacimenti sotterranei (salgemma) proveniente dall'evaporazione di acque salmastre rimaste intrappolate in antichi bacini chiusi (ogni metro cubo di acqua di mare lascia un deposito di circa 35 Kg di sale). I cristalli possono essere di diversi

centimetri di spigolo, limpidi e trasparenti o colorati in azzurro, rosso, giallo per inclusioni o impurezze varie.

Il sale da cucina (NaCl, insieme a piccole quantità di altri sali ben accettati perché ne esaltano la sapidità) si ricava sia da miniere (salgemma) sia per evaporazione dell'acqua di mare (sal marino) esposta in vasche artificiali al calore del sole.

Trova largo impiego nell'industria (vetri, saponi, varechina..).

I monocristalli sono impiegati nell'ottica per la loro trasparenza all'infrarosso."

4. Le nostre ricette

4.1 Sale da cucina

Preparazione della soluzione satura

Si mettono in una bottiglia di vetro 200 g di sale da cucina (fino o grosso) e 1/2 litro di acqua distillata. Si tappa e si dibatte vigorosamente per alcuni minuti. La massima quantità di sale da cucina (NaCl) che si può sciogliere in 1/2 litro di acqua distillata a 20°C è 185 g, perciò rimarrà sul fondo un deposito di circa 15 g.

Se non resta deposito avete sbagliato a pesare (colpa vostra o della bilancia): basta aggiungere ancora sale finché non resta deposito.

Filtrare (imbuto e tovagliolo di carta) la soluzione e versare in un recipiente ampio (una zuppiera). Col tempo (un giorno) si formano incrostazioni ai bordi e in superficie che vanno fatte cadere sul fondo. Se queste, dopo un altro giorno, non si sono sciolte abbiamo la sicurezza di avere una soluzione satura di sale che va trasferita, incrostazioni comprese, in una bottiglia.

Preparazione dei germi cristallini

Versare in un recipiente basso (portaceneri) uno strato di soluzione satura (altezza di 1 cm), coprire con foglio bucherellato di carta (per far uscire il vapore d'acqua e impedire l'ingresso della polvere) e lasciare a sé a temperatura costante (lontano dal termosifone, dal sole..).

Ogni giorno rabboccare aggiungendo soluzione satura per mantenere il livello costante.

Si formerà una crosta con molti cristallini sul fondo: romperla (con uno stuzzicadenti) per fare spazio intorno ai cristallini isolati e più precisi (germi).

Coltivazione dei cristalli

Il sale da cucina ha il vantaggio di

essere facilmente reperibile, di non essere tossico, di essere poco sensibile ai cambiamenti di temperatura, di non essere aggressivo né sulle mani né con i recipienti, di dare germi piccoli ma perfetti.

Lo svantaggio è che cresce lentamente e che con grande facilità si aggrega con altri cristallini. Abbiamo lasciato i germi immersi sul fondo coperti da circa 0.5 cm di soluzione, pulendoli ogni giorno e cambiando loro ogni volta la faccia di appoggio. Siamo arrivati a un massimo di 5 mm di spigolo.

4.3 Solfato di rame pentaidrato

I cristalli di solfato di rame pentaidrato (CuSO₄·5H₂O) sono azzurri di forma rombica (sistema triclino) e possono presentare numerose sfaccettature. Sono piuttosto rari in natura perché facilmente solubili, si possono perciò trovare (calcantite) in paesi a clima asciutto (Cile). Provengono da alterazione chimica di giacimenti di solfuri e solfosali metallici.

Il CuSO₄·5H₂O è impiegato come anticrittogamico per curare la peronospora e l'oidio della vite (pol-tiglia bordolese: miscelazione di solfato di rame, latte di calce, zolfo). E' anche un contravveleno per gli avvelenamenti da fosforo.

Preparazione della soluzione satura

Questa sostanza è tossica, corrode i recipienti metallici, macchia i vestiti e la pelle e deve essere usata, come smacchiatore, ammoniacca. Si devono indossare guanti e un camice.

Si sciolgono 250 g (210 g teorici) di CuSO₄·5H₂O commerciale in 1/2 litro di acqua distillata bollente.

Si scioglie tutto perché questo sale è molto solubile a caldo (a 70°C la stessa soluzione può sciogliere altri 280 g di prodotto).

Si filtra in una bottiglia di plastica resistente al calore e si lascia riposare per una giornata. Il giorno dopo il fondo sarà coperto da una incrostazione di cristalli azzurri. Travasare la soluzione (satura) e l'incrostazione si stacca battendo il fondo della bottiglia (ecco perché di plastica!) con un martello.

Preparazione dei germi cristallini

Versare in un posaceneri uno strato di un cm di soluzione satura e lasciarla evaporare a temperatura ambiente. Il giorno dopo si formano sul fondo germi cristallini azzurri di qualche mm con la forma di rombi.

Coltivazione dei cristalli

Prelevare i cristallini rombici azzurri, quelli isolati e più precisi. Posarli nel posacenere (che avrete pulito : le incrostazioni che si sono formate lasciatele asciugare a parte per riutilizzarle, la soluzione aggiungetela nella bottiglia della soluzione satura).

Lasciare evaporare a temperatura ambiente, al riparo dalla polvere, rigorosamente lontano da fonti di calore (scioglierebbero i germi in soluzione!). Ogni giorno ripulirli dai cristalli parassiti e mantenere costante il livello della soluzione.

Quando i cristalli sono cresciuti metteteli in un nuovo recipiente più grande (è sufficiente che il cristallo abbia qualche cm di spazio intorno e sopra di sé).

In un paio di settimane si ottengono facilmente cristalli di diversi cm di lato. (Noi siamo arrivati ad un magnifico monocristallo di una quindicina di cm di lato).

4.4 Saccarosio

La formula chimica del saccarosio (zucchero comune) è $C_{12}H_{22}O_{11}$, si presenta in cristalli incolori prismatici con caratteristiche sfaccettature (sfenoidi), incolori e trasparenti si possono presentare in forme speculari.

Non si trova cristallizzato in natura, ma solo come cristallo artificiale.

Si estrae da vegetali che lo contengono disciolto (barbabietola da zucchero, canna) triturandoli e raccogliendolo per cristallizzazione.

Quello in commercio appare bianco (spesso perché addizionato di un colorante, l'azulene, che copre il giallo delle impurezze) se proviene da barbabietola, altrimenti è di colore dorato (di canna).

Preparazione della soluzione satura

Sciogliere circa 170 g di zucchero in 100 mL di acqua distillata bollente. Lasciar raffreddare. Si otterrà un deposito di cristallini di zucchero.

Preparazione dei germi cristallini

Raccogliere quelli più regolari e lisci (germi).

Non vi lasciate impressionare dalla consistenza sciropposa della soluzione, né dalla tenacia con cui i germi sono attaccati sul fondo e sulle pareti (staccateli con un cucchiaino).

Coltivazione dei cristalli

68 Riscaldare (a bagnomaria) il recipiente con la soluzione satura finché tutte le incrostazioni si sono sciolte. Raffred-

dare (a bagnomaria) e sospendere in questa soluzione una scheggia di zucchero di scarto. Se dopo alcune ore si è sciolta, aggiungere un cucchiaino di zucchero e ripetere il procedimento finché la scheggia non si scioglie più.

Sostituire alla scheggia di prova il germe cristallino sospendendolo con un filo di seta (un capello). Comincia un processo di deposizione della soluzione sovrasatura che dura circa una settimana.

Durante questo periodo ogni giorno pulire il cristallo di zucchero. Se avete fatto una soluzione troppo sovrasatura il cristallo comincerà a coprirsi di cristalli parassiti : aggiungete un cucchiaino di acqua e ripartite con tutto il procedimento.

Questi cristalli crescono bene una volta trovate le condizioni adatte e vi daranno molta soddisfazione.

Anche perché è l'unica volta che, se vi siete stufati, (e avete lavorato pulito, ma proprio pulito!) potete tranquillamente mangiarveli i vostri esercizi!!

4.5 Solfato doppio di alluminio e potassio

L'allume ha formula chimica: $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ cioè si tratta solfato doppio di alluminio e potassio dodecaidrato. I cristalli si presentano facilmente con forme diverse a seconda delle condizioni di crescita : ottaedri, ottaedri smussati, mattonelle con facce triangolari intere o smussate. Tutte queste forme provengono dalla stessa figura di base per diversa velocità di crescita delle facce. Si trova cristallizzato come minerale (alunite o allumite), con una composizione un po' diversa $KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$. Importanti giacimenti sono a Tolfa. Si impiega per la depurazione dell'acqua, come mordente per la tintura dei tessuti, come sbiancante nella preparazione della carta. Ha potere astringente ed è usato per fermare il sanguinamento di piccole ferite (emostatico, facendosi la barba).

Preparazione della soluzione satura

Si sciolgono 100 g di allume in 500 mL di acqua distillata bollente. Si lascia raffreddare e, se il giorno dopo c'è un deposito cristallino, la soluzione può essere considerata satura.

Preparazione dei germi cristallini

Si versa uno strato di 1 cm di soluzione in un recipiente basso (posacenere), lasciando a sé. Dopo un giorno si possono scegliere i cristalli isolati più precisi (germi).

Coltivazione dei cristalli

Il germe va appoggiato sul fondo di un recipiente basso in modo da lasciarlo 1/2 cm sotto il livello della soluzione. Ogni giorno pulirlo e appoggiarlo su una faccia diversa.

E' possibile alternare la sua crescita in soluzioni sature di allume e allume di cromo (viola) ottenendo cristalli uno dentro l'altro.

5. Conclusioni

Il lavoro è stato svolto per due anni consecutivi ed ha coinvolto contemporaneamente classi prime e seconde ciascuna con interventi differenziati ma tutti convergenti sullo stesso obiettivo concreto della messa a punto di una Mostra finale.

La particolarità di condurre un lavoro sperimentale esteso all'intero anno scolastico non ha condizionato lo svolgimento degli altri argomenti del programma scolastico, ma si è rivelata anzi una fonte di continui richiami e stimoli. Per le classi prime è stato un modo di muovere i primi passi tra separazioni, soluzioni e pesate. Per le seconde invece è stata una occasione per approfondire una serie di concetti e per mettere a fuoco l'argomento dei legami chimici riferendosi a quelli incontrati in soluzione (per spiegare la dissoluzione, la saturazione, la dipendenza dalla temperatura), nei cristalli (per spiegare la disposizione geometrica), nei minerali.

Durante i contatti con università e privati gli studenti hanno visionato le collezioni mineralogiche con cognizione di causa e con vivo interesse hanno posto domande sulle tecniche e sulle caratteristiche dei campioni esposti, partecipando attivamente alla scelta di quelli da destinare alla nostra Mostra e raccogliendo informazioni utili per introdurre eventuali modifiche ai metodi da noi applicati per la coltivazione dei cristalli.

La scelta di occuparsi anche di documenti antichi e di citazioni relative a tematiche più ampie ha permesso approfondimenti per noi inediti con escursioni in ambiti storici e con la scoperta "inaspettata" che grandi scienziati avevano espresso dubbi o facevano considerazioni intorno ai cristalli a volte stranamente simili a quelle degli stessi studenti che così hanno avuto la soddisfazione di una insolita esperienza di vicinanza con le cose della scienza.

L'attività pratica è stata vista come propedeutica alla teoria, per cui la pre-

parazione delle soluzioni sature e dei germi cristallini, il loro accrescimento da soluzioni sature per evaporazione o per raffreddamento sono stati momenti di acquisizione di comportamenti della materia che solo in seguito sono stati sistematizzati.

Inoltre, fatto di non trascurabile importanza, è possibile far lavorare tutti, anche studenti di solito meno motivati o con particolari problemi di handicap, perché ci sono livelli operativi diversi a seconda del tipo di cristallo da coltivare e delle tecniche da applicare o da "inventare" fino agli approfondimenti sia di tipo scientifico che storico o più generalmente culturale.

La organizzazione delle conoscenze sperimentali ed i riferimenti alla teoria sono diventati in questo modo convincenti ed interessanti perché motivati dalla curiosità nata dai problemi

e dai fatti concreti incontrati durante il lavoro pratico svolto.

I fatti osservati nella preparazione delle soluzioni sature e durante la coltivazione dei germi cristallini permettono di introdurre per esempio agli ioni (legame ionico), alle loro interazioni col solvente (legami covalenti), ai legami ione-dipolo e dipolo-dipolo, a partire da una prima spiegazione di tipo modellistico per proseguire con approfondimenti che l'insegnante valuterà di volta in volta riguardanti la teoria dei legami, il concetto di equilibrio (legato ai calcoli di solubilità), l'emissione/assorbimento di onde elettromagnetiche (le tecniche di indagine cristallografiche a raggi X).

Opere consultate

- Plinio il Vecchio, *Naturalis historia*, ca 60 a C

- Tournefort, *Quelques observations sur l'accroissement et la generation des pierres*, A.D. S. 1700-1702

- De Boot, *Le parfait joaillier*, Lyon 1644
- Borrichius, *Observations sur la formation des pieffes*, Actes de Copenhague 1677

- Venette, *Traité des pierres* 1702

- Mathias Tillingis, *Sur la formation des pierres* 1665

- Joel E. Arem, *Man-made crystals*, Smithsonian Institution Press, Washington DC 1973

- D.P. Grigorye'v, *Ontogeny of minerals*, S. Monson, Jerusalem

- Helene Metzger, *La genese de la science de cristaux*, Albert Blanchard, Paris 1969

- Antonio Neviani, *Nozioni elementari di Storia Naturale*, Vol. V Mineralogia, Firenze Successori Le Monnier, 1907

- Il grande libro dei minerali e delle gemme, De Agostini, 1997

Recensione

 [Continua da pag. 58](#)

L'autore ha semplificato qualche argomento più di quanto a voi sembra ragionevole?

L'autore ha tralasciato qualche evidenza importante che supporta un'idea che viene introdotta e voi vi state chiedendo 'come si può conoscere ciò'?

Pensate che l'autore si sbaglia?

In questa sezione si possono trovare questioni riguardanti argomenti molto diversi; dall'equazione di Schrödinger all'ambiente, dall'interpretazione dei dati numerici ad un problema sulla produzione del vino rosso.

La sezione successiva è intitolata: *Making judgements*. Gli studenti sono abituati a risolvere problemi fornendo la risposta corretta: in questa sezione si esplorano questioni che non hanno una 'risposta giusta'. Negli esercizi in cui è richiesto qualche calcolo, non sono forniti tutti i dati necessari per svolgere i calcoli completi. I problemi riguardano i solventi e la solubilità (6), la sicurezza (4), le reazioni (6), la purezza di una sostanza (4), il rendimento (8), atomi e molecole (8), accuratezza e precisione (8), metodi analitici (6), equilibri (9) e stime (12).

Nella sezione *Reference trails* sono riportati 28 problemi. In questa sezione si vogliono introdurre e allenare gli studenti alla ricerca bibliografica attraverso questioni tratte dalle più prestigiose riviste di chimica. Vengono forniti i dati di partenza e talvolta è necessario fare riferimento alla letteratura riportata nell'articolo citato, per rispondere alle varie domande.

Nella sesta sezione, *Commentaries*, sono riportate alcune soluzioni, (modestamente indicate come le soluzioni preferite dagli autori), in genere con un commento e riguardanti gli esercizi dispari, con qualche eccezione nella sezione *Making judgements*.

L'indice è stato pensato per facilitare i differenti modi nei quali il libro può essere usato. Oltre all'indice analitico convenzionale, c'è un indice nel quale gli esercizi sono organizzati per materie e in un terzo indice gli esercizi sono suddivisi per metodologie didattiche e processi di apprendimento.

I problemi proposti sono stati utilizzati in differenti situazioni di insegnamento e la risposta è stata molto positiva; poiché gli esercizi ammettono più di una risposta accettabile, sembrano essere particolarmente utili per promuovere la comunicazione e l'apprendimento cooperativo tra gli studenti. Questo libro esemplifica al meglio l'idea che l'insegnamento della chimica non è soltanto una questione di imparare dei fatti o seguire delle

procedure, ma è anche ragionare in modo critico e creativo; esso è frutto di un notevole lavoro (come si evince dai molti problemi e dalla loro qualità) fatto dai tre autori, peraltro attivamente coinvolti nello sviluppo di approcci più efficaci nell'insegnamento della chimica. Certamente è una miniera preziosa di esercizi creativi per tutti noi insegnanti di chimica e un necessario "compagno di studi" per tutti gli studenti che vogliono acquisire capacità critiche.

Nel testo c'è purtroppo qualche errore, forse inevitabile nella prima edizione, (p. 16: l'equazione $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ implica che un processo per il quale ΔS è *negativa* diventerà più sfavorito con l'aumentare della temperatura) ed è arricchito qua e là da disegni e vignette, azzeccati gli uni e divertenti le altre. Giusto per dare un assaggio al lettore, viene riportato il dialogo tra due antichi egizi: "Desidero essere sepolto all'interno di un grande modello della molecola SiCl_4 " o tra due esquimesi: "Preferisco la scala kelvin ... sembra più caldo ...". Molto consigliato per tutti gli insegnanti, specie per quelli universitari: l'utilità del libro è tale che vale la pena di superare la difficoltà della lingua.

Liberato Cardellini

Acido betulinico e sua importanza come antitumorale

Introduzione

Molti costituenti delle piante, come taxolo, camptotecina, podofillotossina, vincristina e vinblastina, sono principi attivi molto importanti correntemente impiegati come farmaci per combattere con successo alcuni tumori umani; essi rappresentano anche dei modelli per lo sviluppo di nuovi agenti chemioterapici antitumorali. Tali composti hanno strutture complesse e tra di loro molto eterogenee e sono capaci di facilitare meccanismi di citotossicità, che vengono generalmente classificati nelle due categorie: di necrosi e di apoptosi (morte programmata delle cellule).

Tra gli antitumorali di origine vegetale desidero soffermarmi su un composto triterpenoidico che più volte è stato isolato e caratterizzato dal gruppo di ricerca dell'Università di Pisa da me coordinato. Mi riferisco all'acido betulinico, ampiamente diffuso nei cibi, nelle piante medicinali e nel mondo vegetale in genere sia sotto forma di acido libero o di aglicone, sia sotto forma di saponina, cioè legato ad una o più unità zuccherine, la cui struttura, insieme a quella della betulina, viene sotto riportata.

Generalità

In un programma di screening sponsorizzato dal National Cancer Institute U.S.A., alcuni ricercatori dell'Università dell'Illinois coordinati dall'Italo-americano Prof. Pezzuto [1], in un frazionamento bio-guidato in cui sono state impiegate linee cellulari di cancro umano, hanno isolato dall'estratto della corteccia di *Ziziphus mauritiana* Lam. (Rhamnaceae) un componente con una citotossicità selettiva contro cellule di melanoma umano. Questo costituente è risultato essere l'acido betulinico, che ha inibito in modo specifico la crescita

IVANO MORELLI (*)

di quattro linee cellulari (MEL 1-4) ottenute da pazienti umani con melanoma metastatici, mentre tutti gli altri tipi di tumori sono risultati recalcitranti al trattamento con tale composto. Ciò in contrasto netto con quello che viene osservato con molti farmaci chemioterapici antitumorali, come anche quelli di origine vegetale (camptotecina, ellipticina, mitramicina -A, etoposide, taxolo, vinblastina e vincristina), i quali evidenziano tutti una relativamente intensa citotossicità senza alcuna selettività. L'ispezione visiva delle cellule di melanoma trattate con acido betulinico suggerisce che il composto agisce inducendo apoptosi.

L'assenza di tossicità, unita ad una significativa attività antitumorale, indicano quindi per l'acido betulinico un indice terapeutico favorevole, che è un prerequisito per essere preso in seria considerazione per lo sviluppo come farmaco.

Un altro aspetto favorevole all'uso di questo principio attivo è che tale composto, a differenza di quello che è accaduto di recente con il taxolo, ha un'ampia disponibilità di essere reperito come tale o di essere ottenuto da altri precursori. L'acido betulinico è infatti molto diffuso nel regno vegetale ed è disponibile da numerose fonti, anche se in basse rese. D'altra parte è facilmente ottenibile, attraverso una semplice ossidazione del gruppo alcolico primario in C-28, dalla betulina, che è il componente principale della corteccia di molte piante del genere *Betula*, ove in alcuni casi si trova anche in concentrazione superiore al 35%, in un materiale che è di scarto, rispetto al legno che viene largamente impiegato per produrre mobili. La corteccia di betulla contiene anche acido betulinico, ma in concentrazioni che raramente

superano lo 0.025% [2,3].

Si deve far rilevare che sia la betulina che l'acido betulinico sono prodotti che vengono anche commercializzati, ma il secondo è meno puro e molto più costoso del primo [4].

Per ottenere l'acido betulinico dalla betulina sono stati proposti molti approcci sintetici. I primi sono stati pubblicati alla fine degli anni '30 e prevedevano un processo multi-stadio, attraverso il quale, alla fine, si otteneva il prodotto desiderato, purtroppo in rese abbastanza basse [5,6]. Tale processo si basava sulla conversione della betulina nel suo diestere (betulin-3,28-diacetato), che successivamente veniva trasformato in betulin-3- monoacetato, il quale, attraverso l'ossidazione con il reattivo di Jones ($\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{acetone}$) [7], dava luogo all'acido 3-acetilbetulinico, da cui per perdita del gruppo estereo mediante saponificazione, si otteneva infine il prodotto desiderato. Di recente [8] sono stati proposti due nuovi metodi di sintesi dell'acido betulinico, entrambi con un numero minore di stadi, che in ambedue i casi portano all'ottenimento del prodotto desiderato con rese superiori. Il primo prevede l'ossidazione con il reattivo di Jones della betulina ad acido betulinico, il quale, per riduzione con NaBH_4 , fornisce una miscela 95:5 di 3 β - e α - isomeri, che, per ricristallizzazione, fornisce l'acido betulinico (isomero β -) con resa del 75%. Le acque madri, che contengono la miscela di isomeri, possono essere riossimate e di nuovo ridotte, per fornire alla fine nuovo acido betulinico, con una resa globale del 71%. Gli stessi ricercatori, per evitare la formazione dell' α - isomero, hanno proposto un nuovo approccio sintetico che non prevede l'acido betulinico e quindi riduzione, come prodotti intermedi. Per una conversione su larga scala della betulina in acido betulinico, alla fine però i citati ricercatori sostengono che il primo processo in due stadi, che prevede

come intermedio l'acido betulonico, sia il metodo più efficace.

Vediamo ora come è possibile isolare la betulina dalla corteccia di betulla e come ottenere l'acido betulonico con il metodo via acido betulonico.

Isolamento della betulina [2]

La corteccia di betulla (150 g) viene tagliata in piccoli pezzetti (o macinata) e bollita in un matraccio con una soluzione di sodio carbonato al 2% per rimuovere i costituenti acidi. La soluzione viene filtrata ed il residuo viene bollito 2 volte con porzioni da 500 mL di acqua calda, quindi filtrato con un Buchner. Il residuo solido viene seccato all'aria ed estratto con metanolo caldo per 3 ore, quindi filtrato. Per concentrazione della soluzione estrattiva, si separa per cristallizzazione la betulina grezza, come cristalli bianchi. Gli esteri della betulina, presenti nelle acque madri, possono essere saponificati per addizione di 25 volumi di una soluzione all'1% di potassio idrossido in etanolo; dopo una notte a temperatura ambiente, la betulina grezza viene filtrata,

seccata e cristallizzata da cloroformio-metanolo o etanolo, fino ad ottenere aghi con p.f. 251-252°C.

Preparazione dell'acido betulonico [8]

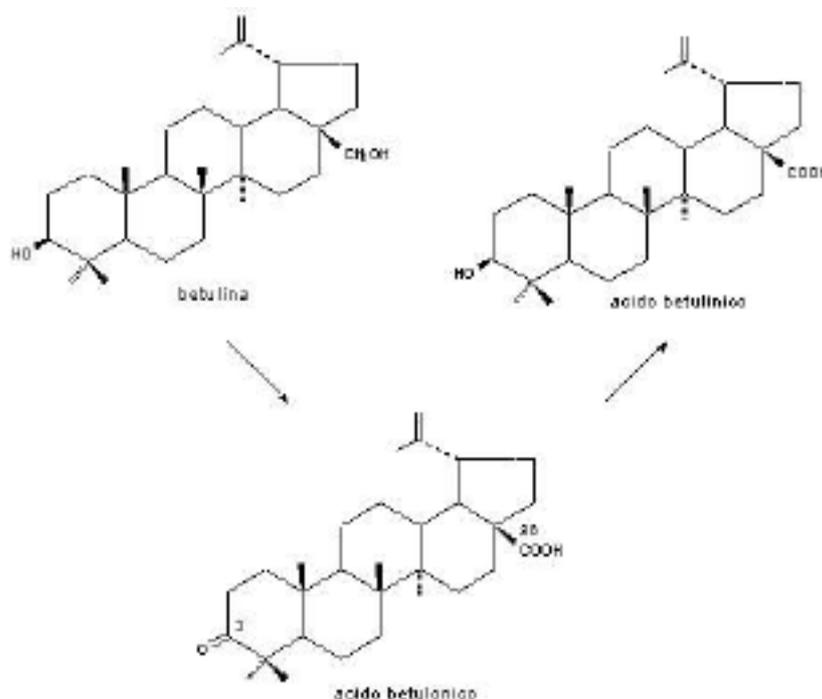
Ad una soluzione di betulina (1.0 g, 2.26 mmoli) in acetone (50 mL) a 0°C viene aggiunto goccia a goccia il reattivo di Jones preparato di fresco (CrO₃ in acido solforico diluito 8 N; 26.72 g di anidride cromica in 23 mL di H₂SO₄ conc. diluito a 100 con acqua). La soluzione viene agitata per 1.5 ore a 0°C, diluita con metanolo (25 mL), agitata per ulteriori 5 min., quindi addizionata di acqua (40 mL). Il solvente organico viene rimosso sotto vuoto ed il residuo acquoso viene estratto con etile acetato (2 x 40 mL). La fase organica viene quindi lavata con acqua (20 mL) e salamoia (15 mL), seccata su magnesio solfato anidro, filtrata e portata a secco. Il residuo viene quindi cromatografato su gel di silice (60-200 mesh) utilizzando come eluente etere di petrolio/etile acetato (4:1), per ottenere acido betulonico (0.77 g, resa 75%), p.f. 247-149°C.

Preparazione dell'acido betulonico [8]

Ad una soluzione di acido betulonico (500 mg, 1.10 mmoli) in THF (20 mL) a 0°C viene aggiunto NaBH₄ (440 mg, 10.0 equiv.) ed agitata a temp. ambiente per 10 ore. Alla soluzione viene aggiunto HCl 2 N (3 mL) and il THF viene ridotto sotto vuoto per oltre il 50%. La soluzione viene diluita con etile acetato (80 mL), lavata con acqua (3 x 5 mL) e salamoia (5 mL). La fase organica viene seccata su magnesio solfato anidro, filtrata ed il solvente rimosso sotto vuoto. Il residuo bianco (resa quantitativa) viene disciolto in metanolo caldo (50 mL). Per raffreddamento si separa per cristallizzazione acido betulonico (375 mg, resa 75%), p.f. 291-2°C.

Bibliografia

- [1] Pisha E., Chai H., Lee I-S., Chagwedera T.E., Farnsworth N.R., Cordell G.A., Beecher C.W.W., Fong H.H.S., Kinghorn A.D., Brown D.M. Wani M.C., Wall M.E., Hieken, T.J., Das Gupta T.K., Pezzuto J.M., *Nature Med.*, **1**, 1046, 1995; Schmidt M.L., Kuzmanoff K.L., Ling-Indeck L., Pezzuto J.M., *European J. Cancer*, **33**, 2007, 1997.
- [2] Hunefield J., *Prakt. Chem.*, **7**, 53, 1836
- [3] Sosa A., *Ann. Chem.*, **14**, 5, 1940
- [4] Secondo il catalogo Aldrich 1999-2000, 1 g di betulina pura al 97% e di acido betulonico tecnico al 90% costano, rispettivamente Lit. 94.000 e 408.000; quindi la betulina è più di 4 volte meno costosa del suo derivato.
- [5] Ruzicka L., Lambertson A.H., Christie E.W., *Helv. Chim. Acta*, **21**, 1706, 1938
- [6] Robertson A., Soliman G., Owens E.C., *J. Chem. Soc.*, 1267, **1939**
- [7] Djerassi C., Engle R.R., Bowers A., *J. Org. Chem.*, **21**, 1547, 1956
- [8] Kim D.S.H.L., Chen Z., Nguyen T., Pezzuto J.M., Qiu S., Lu Z-Z., *Synth. Comm.*, **27**, 1607, 1997



L'ELETTROLISI E LA CHIMICA ORGANICA

Riassunto

La chimica organica ha acquistato maggior peso nei corsi di chimica di base per la Scuola Media Superiore, ma a nostro avviso sarebbe comunque utile un collegamento tra gli esperimenti di chimica organica e quelli di chimica generale.

Come esempio di sintesi organica per via elettrochimica si propone la sintesi dello iodoformio, illustrata abbastanza recentemente anche nel *Journal of Chemical Education*.

Il secondo esperimento proposto è collegato invece allo studio dei fenomeni di ossidazione e riduzione che si verificano agli elettrodi di una cella elettrolitica quando si elettrolizza una soluzione acida d'idrochinone.

Il terzo esperimento è stato proposto come attività di "problem solving" ed è sempre collegato allo studio dei fenomeni che si verificano agli elettrodi durante l'elettrolisi di un composto organico cioè l'acetone in soluzione basica.

Questo esperimento, semplicissimo nell'esecuzione, è problematico nella sua interpretazione e potrebbe essere assegnato affidandolo alla riflessione degli studenti attraverso l'elaborazione di una scheda con il diagramma a V di Gowin.

Per portare chiarezza sui prodotti ottenuti si è dovuto ricorrere alla gas cromatografia abbinata alla spettrometria di massa.

1. Introduzione

Come auspicato diversi anni fa in questa rivista [1], la chimica organica sta finalmente acquistando maggiore rilievo, rispetto al passato, nei corsi di chimica di base per la Scuola Media Superiore. Si richiederebbe tuttavia, anche per l'insegnamento della chimica organica, un approccio sperimentale ed un "aggancio" pratico con

ROBERTO SOLDA^(*)LIVIA MERCATO^(*)ALBERTO LINDA^(*)

la realtà vicina all'esperienza diretta dell'alunno.

Con tale intendimento erano stati proposti a livello di SSS non ad indirizzo chimico, tra gli altri esperimenti, i saggi qualitativi caratteristici dei vari gruppi funzionali, la preparazione del salicilato di metile, dell'aspirina e di alcuni polimeri comuni [1].

A nostro avviso sarebbe comunque utile, nel limite delle possibilità, un collegamento tra gli esperimenti di chimica organica e quelli di chimica generale.

Per quanto riguarda l'elettrolisi, sfruttando apparecchiatura e modalità analoghe a quelle con cui vengono proposti i consueti esperimenti di elettrochimica di base, si potrebbe ad esempio effettuare la preparazione di qualche composto organico per via elettrolitica.

D'altronde l'aggancio alla vita pratica, per motivare un'esperienza di questo tipo, non mancherebbe: l'elettrolisi viene impiegata anche nella sintesi organica ed alcuni composti organici vengono preparati industrialmente per via elettrochimica.

Naturalmente le reazioni da prendere in considerazione devono essere scelte in modo da dare prodotti non nocivi e facilmente osservabili (colore, odore, ecc.) e gli esperimenti da effettuarsi devono essere programmabili in tempi abbastanza brevi. Riteniamo infine che, per stimolare lo spirito di curiosità e l'autoapprendimento da parte degli allievi, sarebbe utile proporre qualche esperimento del tipo "problem solving".

Come noto, le sintesi organiche per via elettrochimica sono suddivise in preparazioni:

· che sfruttano la formazione al catodo o all'anodo di una specie inorganica

la quale, reagendo con un opportuno reagente organico, dà il prodotto finale

· di prodotti che si formano per riduzione catodica

· di prodotti che si formano per ossidazione anodica

In questo articolo vengono proposti tre esperimenti, messi a punto utilizzando le attrezzature scolastiche, cioè la sintesi dello iodoformio, l'ossidazione anodica dell'idrochinone e l'ossidazione anodica dell'acetone

Materiale occorrente

- acetone
- idrochinone
- soluzione acquosa di H_2SO_4 2 M
- soluzione acquosa di KI 0,3 M
- soluzione di NaOH 1 M
- soluzione acetone / NaOH 1 M, in rapporto 1: 4
- becker o vasetti di vetro (capacità circa 100 mL)
- tappi di sughero o gomma con tre fori, adatti per tappare i becker o vasetti suddetti
- tubi di vetro (o plastica) ad U con dimensioni orientative: altezza 10 cm, larghezza 8 cm, diametro 15 mm
- elettrodi di grafite, ricavabili da pile esaurite
- sostegni con pinza a ragno, adatti al sostegno dei tubi ad U
- fili elettrici terminanti con morsetti a bocca di cocodrillo
- pile da 4,5 V e 9 V

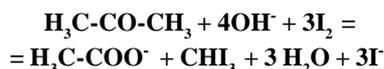
Se si intende utilizzare il primo esperimento anche per la verifica delle leggi di Faraday e per il calcolo della resa, bisogna disporre alcuni tester per la misura dell'intensità di corrente.

2. Sintesi dello iodoformio

Come esempio di sintesi organica, si propone anzitutto la sintesi per via elettrochimica dello iodoformio, proposta abbastanza recentemente anche nel *Journal of Chemical Education* [2].

Tale preparazione è strettamente

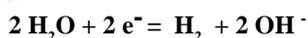
correlata al solito ben noto esperimento dell'elettrolisi di KI ma, a differenza di quella proposta nel Journal of Chemical Education, nel nostro caso è realizzabile in "versione ridotta" e con una modesta attrezzatura chimica ed elettrochimica disponibile in qualsiasi laboratorio scolastico. Come noto, la sintesi dello iodoformio si basa sulla reazione aloformica in soluzione acquosa:



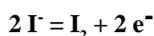
In questo caso tale reazione viene effettuata mediante l'I₂ e l'OH⁻ prodotti rispettivamente all'anodo ed al catodo durante l'elettrolisi di una soluzione acquosa di KI in una cella elettrolitica contenente KI ed acetone.

Le semireazioni che avvengono agli elettrodi sono:

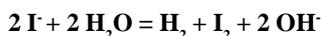
Al catodo:



All'anodo:



Reazione redox globale :



2.1 Parte sperimentale

Versare nel recipiente che funge da cella elettrolitica 50 mL di soluzione acquosa di KI 0,3 M ed aggiungere 1,5 mL di acetone, mescolando bene. Tappare ed assemblare il circuito come rappresentato in figura 1, usando una pila da 9 V ed inserendo anche il tester (predisposto come milliamperometro) se si desidera calcolare il rendimento in base alla quantità di elettricità¹. Lasciare procedere l'elettrolisi per circa 20-30 minuti, agitando ogni tanto la miscela di reazione senza stappare.

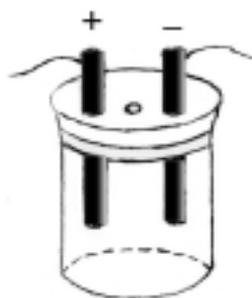


fig. 1

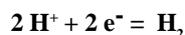
Si osserverà all'anodo la formazione dello iodio e quindi quella dello iodoformio, giallo e con odore tipico ed inconfondibile di disinfettante. Alla fine dell'elettrolisi, allo scopo di calcolare la resa, si può recuperare lo iodoformio preparato operando la filtrazione e quindi l'essiccamento con le consuete modalità.

3. Elettrolisi di una soluzione acida di idrochinone

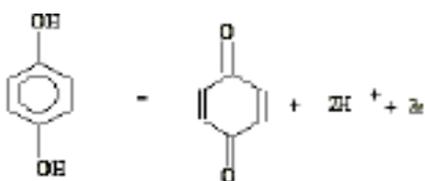
Il secondo esperimento proposto è collegato invece allo studio dei fenomeni di ossidazione e riduzione che si verificano agli elettrodi di una cella elettrolitica ma, poiché si elettrolizza una soluzione di una sostanza organica (una soluzione di idrochinone, HOC-C₆H₄-COH, in acido solforico) anziché inorganica, l'esperimento potrebbe essere utilizzato a completamento di quelli proposti di consueto quali studio dell'elettrolisi di soluzioni di KI e di soluzioni di sali ferrosi e ferrici.

Mediante elettrolisi, in un tubo ad U, dell'idrochinone in soluzione acquosa di H₂SO₄ avvengono le seguenti semireazioni:

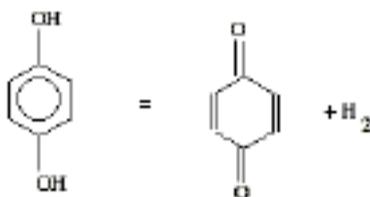
Al catodo:



All'anodo:



Reazione redox globale:



E quindi, come noto, il p-benzochinone (Q) reagisce con l'idrochinone (QH₂) per dare il chinidrone (Q₂H₂):



3.1 Parte sperimentale

Preparare, a temperatura ambiente, 50

mL di una soluzione acquosa di H₂SO₄ 2 M saturata di idrochinone. Assemblare l'apparecchiatura come mostrato in figura 2 e versare nel tubo ad U la soluzione di idrochinone in modo che gli elettrodi siano abbastanza immersi.

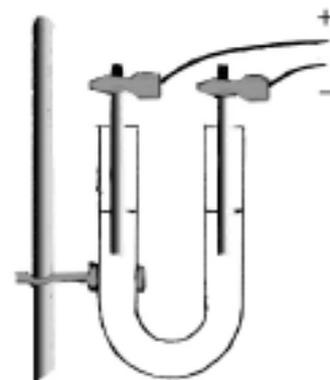


fig. 2

Usando una pila da 9 V, lasciare procedere l'elettrolisi per circa 20 minuti. Al catodo si sviluppa H₂ mentre all'anodo non si sviluppa O₂, ma la soluzione si colora in giallo indicando la formazione del p-benzochinone. In effetti quest'ultimo, man mano che si produce, reagisce con la soluzione incolore di idrochinone della soluzione elettrolitica, dando origine al chinidrone, la cui formazione si manifesta in modo molto appariscente sotto forma di begli "aghi" splendidi di colore verde-scuro.

3.2 Esperimento facoltativo

Anche se non si dispone di un voltmetro di Hoffman, si può dimostrare che effettivamente all'anodo avviene l'ossidazione dell'idrochinone e non lo sviluppo di O₂, tramite l'apparecchiatura di figura 3.

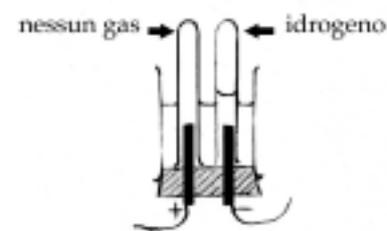


fig. 3

¹ Essendo la durata dell'elettrolisi abbastanza breve, l'intensità di corrente rimane praticamente costante durante l'esperimento e quindi non è richiesto necessariamente l'uso di un reostato.

Infatti, procedendo alla raccolta ed alla misura dei gas H_2 ed O_2 con tale apparecchiatura (come si fa nell'esperimento relativo all'elettrolisi dell' H_2O , che di solito viene effettuato nel corso delle esperienze di laboratorio dei corsi di chimica di base) si può notare che, nell'elettrolisi della soluzione d'idrochinone, il rapporto fra i volumi di H_2 e O_2 è circa 2 : 0, appunto perché all'anodo avviene l'ossidazione dell'idrochinone.

Comunque, prescindendo da tale esperimento, gli allievi devono essere a conoscenza che, elettrolizzando una soluzione acquosa acida o basica di una sostanza organica, si può verificare l'ossidazione o la riduzione di essa, a condizione che naturalmente tale sostanza subisca l'ossidazione o la riduzione più facilmente degli ioni OH^- o H^+ .

Si può evidenziare abbastanza facilmente se la sostanza organica è soggetta alla riduzione o all'ossidazione, raccogliendo e misurando i volumi dei gas prodotti agli elettrodi e rilevando se è avvenuto un mutamento del rapporto 2:1 dei gas H_2 e O_2 .

4. Elettrolisi di una soluzione basica di acetone

Il seguente esperimento proposto come attività di "problem solving" è sempre collegato allo studio dei fenomeni che si verificano agli elettrodi durante l'elettrolisi e potrebbe essere assegnato affidando agli studenti l'elaborazione di una scheda con il diagramma a V di Gowin.

Tale esperimento, come si è detto, ha lo scopo di dare maggiore importanza alla fase progettuale e creativa degli allievi stimolandoli, sulla base dei concetti acquisiti e dell'abilità manuale raggiunta, anche ad avanzare ipotesi che costituiranno, in questo caso specifico, oggetto particolare di discussione.

L'esperimento suscita sorpresa negli allievi per il comportamento strano dell'acetone. Infatti, in base alle loro conoscenze, l'acetone dovrebbe manifestare facilità alla riduzione e difficoltà all'ossidazione. Invece al catodo si osserva sviluppo di H_2 , mentre all'anodo non si sviluppa O_2 e la soluzione circostante, nell'arco dei trenta minuti di durata dell'elettrolisi, assume un colore giallo.

74 Questi fenomeni ed il fatto che, nelle medesime condizioni sperimentali ma senza elettrolisi, la soluzione rimanga

incolore almeno per circa una settimana, inducono i ragazzi a formulare le seguenti ipotesi relative all'elettrolisi:

- al catodo non avviene la riduzione dell'acetone
- all'anodo non avviene l'ossidazione della specie OH^-
- il colore giallo assunto dalla soluzione nella zona anodica deve essere dovuto alla formazione di uno o più composti di colore giallo
- tale formazione deve essere particolarmente favorita dal processo di ossidazione realizzato all'anodo durante il decorso dell'elettrolisi.

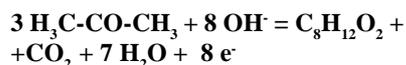
Nella discussione in aula si può spiegare anzitutto che l'analisi qualitativa mediante l'abbinamento della gas cromatografia con la spettrometria di massa (GC/MS) di un campione di soluzione gialla prelevata all'anodo ha evidenziato la formazione di dieci prodotti di reazione, di cui nove identificati (vedi tabella).

Tabella. Con l'analisi qualitativa GC/MS è stato possibile evidenziare dieci composti di cui i nove identificati sono i seguenti:

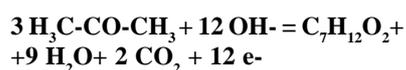
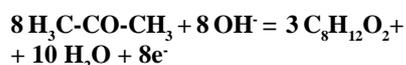
· 4- metil-3- penten-2- one (ossido di mesitile)	($C_6H_{10}O$)
· 4-ossi-4-metil-2-pentanone (diacetonalcool)	($C_6H_{12}O_2$)
· 4, 6 – dimetil- tetraidropirano –2- one	($C_7H_{12}O_2$) giallo [3]
· 5,5- dimetilcicloesan-1,3- dione (dimedone)	($C_8H_{12}O_2$) giallo [4]
· 3- metilciclo-2- penten-1- one	(C_6H_8O) giallo [5]
· 5- metil – 5- esen -2- one	($C_7H_{12}O$)
· 3,5,5- trimetil- 2- cicloesen -1- one (isoforone)	($C_9H_{14}O$)
· 3,5 – dimetil –2- cicloesen – 1- one	($C_8H_{12}O$)
· 2,3,5 – trimetil -4- metilen- ciclo -2- penten-1- one	($C_9H_{12}O$)

Quindi, ad un livello di chimica di base, si potrà eventualmente accennare anche alla differenza fra prodotti di condensazione ed ossidazione dell'acetone e, convalidando la seconda ipotesi relativa all'ossidazione dell'acetone, qualora si ritenga opportuno, si possono scrivere anche le semireazioni di ossidazione totali relative ad alcuni composti che si sono formati appunto in seguito a tale ossidazione.

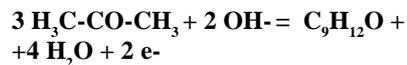
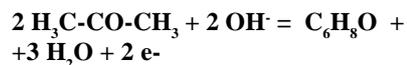
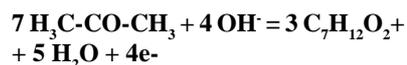
Ad esempio:



oppure:



oppure:



ponendo in rilievo che, anche se avvenissero le semireazioni con sviluppo di CO_2 , essa verrebbe "fissata" da NaOH.

Invece per quanto riguarda la terza ipotesi avanzata dagli allievi, si può dire che il colore giallo è dovuto ai prodotti gialli di ossidazione dell'acetone perché ad esempio, se da una miscela di acetone in NaOH 1 M (rapporto 1 / 4) viene rimosso l'ossigeno per gorgogliamento di azoto e tale miscela viene mantenuta in atmosfera di azoto in una beuta tap-

pata, essa rimane incolore per diversi mesi.

Infine, se il tempo lo consente, si potrebbe "dimostrare" in aula che la colorazione gialla si può ottenere, senza rimozione dell'ossigeno e senza il ricorso all'elettrolisi, in circa due ore anziché in una settimana (come accade se lasciata a temperatura ambiente) se la miscela acetone / NaOH 1 M viene riscaldata a ricadere.

Ciò conferma che la colorazione gialla della soluzione acetone / NaOH si ottiene comunque in presenza di un ossidante e, nel caso dell'elettrolisi, si può far osservare che è l'anodo a fungere da ossidante.

4.1 Alcune considerazioni conclusive relative all'elettrolisi della soluzione di acetone

Le motivazioni che ci hanno indotto a proporre sotto forma di "problem solving" proprio l'elettrolisi dell'ace-

tone in NaOH 1 M sono state due:
· stimolare lo spirito di osservazione e l'autoapprendimento degli allievi in considerazione che, durante il primo esperimento proposto, alcuni di essi avevano chiesto quale sarebbe stato il comportamento dell'acetone, senza KI, nell'elettrolisi.

· dare la possibilità ai ragazzi di poter organizzare e gestire da soli un semplice esperimento di elettrolisi collegandolo alle loro conoscenze e all'abilità manuale acquisita con il secondo esperimento.

Tuttavia tale esperienza si è rivelata in effetti molto più stimolante ed interessante di quanto ci si attendeva perché, nell'ambiente basico diluito delle condizioni sperimentali dell'elettrolisi, l'acetone ovviamente non è soggetto solo ad ossidazione, ma anche a condensazione aldolica.

Ed infatti, come si è detto, l'analisi GC/MS ha permesso di evidenziare anche la formazione di: diacetonolcool, ossi-

do di mesitile ed isoforone che, come è noto, sono prodotti dovuti a condensazione aldolica e a reazioni ad essa correlate.

Perciò riteniamo che l'elettrolisi dell'acetone in NaOH 1 M potrebbe essere interessante eventualmente anche per i corsi di laboratorio di chimica organica nelle scuole ad indirizzo chimico perché, con allievi di tali scuole, è certamente possibile approfondire i concetti connessi con i meccanismi di reazione aldolica, crotonica, ecc. oltre che introdurre elementi relativi all'analisi GC/MS.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i periti tecnici: il sig. Bartolomeo Di Lorenzo, il sig. Francesco Temi e la signorina Maria Didio, per la loro grande disponibilità ed assistenza tecnica.

Inoltre in particolare si ringraziano il Dottore Renzo Bortolomeazzi del Dipartimento di Scienze degli Alimenti

dell'Università di Udine per l'analisi qualitativa GC/MS indispensabile per la realizzazione del terzo esperimento e il Prof. Fabio Benedetti del Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Trieste per la ricerca bibliografica relativa al colore dei composti della miscela.

Infine siamo grati al Prof. Ermanno Niccoli per aver seguito questo lavoro con grande disponibilità e per i preziosi suggerimenti che hanno contribuito alla messa a punto del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Valitutti, La Chimica nella Scuola, 3, 1986.
- [2] M. M. Singh, R. M. Pike, Z. Szafran, J. D. Davis, S. A. Leone, J. Ch. Educ., 72, 1995.
- [3] S. Tsunoi, I. Ryu, T. Okuda, M. Tanaka, M. Komatsu, N. Sonoda, J. Am. Chem. Soc., 1949, 71, 1346.
- [4] N. A. Lange, Manuale di chimica, Firenze 1970.
- [5] T. J. Kealy, R. E. Benson, J. Org. Chem., 1961, 26, 3126.

UNO SGUARDO DALLA CATTEDRA



L'orientamento, secondo il dizionario etimologico di Cortelazzo e Zolli, è soprattutto una necessità del viaggiatore, richiede d'individuare i quattro punti cardinali e magari qualche costellazione per poter indirizzare il proprio cammino; solamente di scorcio, come di cosa poco importante, il dizionario accenna all'orientamento professionale.

A ben vedere quest'ultimo aspetto è,

per certi versi, secondario.

Le scelte professionali dovrebbero essere una conseguenza dell'orientamento culturale e l'orientamento culturale a sua volta matura sotto la spinta dello sviluppo cognitivo ed emotivo oltre che delle condizioni ambientali. Naturalmente sarà necessario che il mercato del lavoro ci permetta di seguire la nostra vocazione professionale e il caso ci spinga nella giusta direzione.

Per fortuna l'orientamento è un fenomeno complesso e non esiste nessuna legge fisica che, date certe condizioni, ne predetermini lo sviluppo.

Un individuo si orienta a seguito di una miriade di decisioni, prese come risposta ad altrettanti stimoli; a fronte di ogni stimolo il comportamento di un individuo è di tipo binario e può rispondere "sì" oppure "no", a meno che venga sedotto e plagiato, come di norma tenta di fare la pubblicità. Insomma il giovane è di fronte ad un viaggio avventuroso che si sviluppa contemporaneamente all'esterno nel mondo delle opportunità e all'interno nel suo inconscio, un viaggio pieno di incognite e di stimoli ma anche di false sollecitazioni, un viaggio du-

rante il quale impara a viaggiare e quindi ad orientarsi.

Il rischio di compiere degli errori è alto, talvolta altissimo, potrebbe condurre al fallimento dell'esistenza se non fosse che le vocazioni sono raramente univoche.

D'altro canto nella vita il giovane ha scarsa possibilità di addestrarsi attraverso attività di simulazione di tipo scolastico. Egli può trarre utili informazioni dall'esperienza degli altri, ascoltarne con spirito critico i consigli, sperando che non nascondano interessi impropri; se la natura non lo ha dotato di intelligenza particolarmente precoce, inizia la sua battaglia in stato di inferiorità, affronta situazioni che non conosce a mani nude, forte solo del suo slancio vitale.

Esistono di conseguenza dei giovani che ripiegano spaventati dall'impresa e che, quando incontreranno degli orientatori, seguiranno quello che parrà loro più rassicurante, il "pifferaio" di turno.

Nella mia vita d'insegnante ho svolto più volte, non mi duole dirlo, il mestiere del pifferaio. Ho parlato ai ragazzini all'uscita della scuola media, nella speranza che scegliessero di ve-

nire nella mia scuola, un Istituto Tecnico ben attrezzato ma che sul piano culturale lasciava alquanto a desiderare; facevo loro vedere le sorprendenti proprietà della materia in provetta, sperando che tra la magia della chimica, il fascino dell'informatica e la lucentezza delle macchine a programmazione numerica ne sarebbero usciti sedotti.

Ho parlato con i giovinetti all'uscita del biennio, lasciando loro intravedere il luminoso futuro del perito chimico, nella speranza che massicce iscrizioni consolidassero le traballanti cattedre della specializzazione.

Memore delle mie origini ho accompagnato i miei alunni prossimi alla maturità a visitare i laboratori dell'università ed ho invitato professori della medesima a venire a fare dell'orientamento nella mia scuola.

Una seduzione graduale, inesorabile, pianificata nella speranza, per lo più delusa, di vedere un giorno ripopolarsi le aule dove si faceva della chimica.

Chi seguiva il pifferaio? Coloro che da tempo amavano la musica che lui suonava ma le propensioni per questa o per altra musica maturavano altrove.

Voglio a questo proposito raccontare per sommi capi la storia di un mio carissimo amico, chimico, per vedere come, attraverso un percorso tutt'altro che lineare, egli maturò la sua vocazione.

Mi narrava che da piccolo abitava in un ameno paesino in mezzo ai monti e che all'inizio degli anni '40, quando aveva all'incirca sei o sette anni, rubava i medicinali dall'armadietto di sua madre e si rifugiava sul terrazzo a mescolare il tutto nella speranza di assistere a qualche avvenimento straordinario e non prevedibile. Rimane un mistero chi gli avesse suggerito tali curiosità dal momento che la famiglia era di modestissima estrazione e la scuola fascista, in pieno fulgore gentiliano, non orientava certo verso le scienze sperimentali. Inoltre non è chiaro da dove scaturisse questa as-

soziazione di sapore alchimistico tra chimica e medicina (iatrochimica).

Più tardi, intorno ai tredici anni, accostandosi attraverso le misteriose vie dell'inconscio all'alchimia cinese scoprì il fascino delle esplosioni, divenne un esperto di polvere nera, di miscele di zolfo e clorato di potassio, di lanci di lattine per esplosione di miscele di aria e acetilene, naturalmente prodotto per reazione dell'acqua con carburo di calcio. Procedeva entusiasta, forte dell'inesistenza delle norme di sicurezza, realizzando reazioni chimiche che ora gli studenti non si sognano di fare nemmeno in un attrezzato laboratorio.

Dopo questo inizio inequivocabile questo mio poliedrico amico, che nel frattempo si era anche appassionato alla lettura e faceva i primi tentativi di scrivere delle poesie, si iscrisse al Liceo Scientifico.

La chimica a causa di un insegnante sconsiderato passò in secondo ordine anzi continuò ad essere coltivata con qualche rischio tra le mura domestiche. Il mio amico scoprì le meraviglie della fisica e, poiché la scuola era priva di laboratorio, egli progettò e si costruì rudimentali strumenti di misura, inoltre scoprì il piacere della riflessione ed ebbe a dire più tardi che le materie di studio che avevano avuto un peso determinante nella sua formazione erano la filosofia e... il latino. Quando arrivò all'università lanciò un'occhiata di desiderio alla medicina ma poi cacciò ogni dubbio, disseppellì la provetta e si iscrisse a chimica, nel frattempo continuò a scrivere poesie. Io l'ho conosciuto a scuola dove faceva con grande entusiasmo l'insegnante, ascoltava dischi di musica classica e leggeva libri di ogni genere.

Abbiamo discusso più volte di questa cosa bislacca che la gente chiama orientamento professionale, arrivando ad alcune conclusioni:

· un giovane non ha per sua natura una vocazione unica, tutt'al più ha una vocazione prevalente;

· l'orientamento comporta un complesso percorso, una sorta di immersione in un labirinto e non sarebbe la prima volta che il labirinto viene assunto come metafora dell'inconscio;

· le vocazioni latenti possono maturare o meno a seconda delle condizioni, ambientali per cui la scelta definitiva è spesso un compromesso tra propensioni ed opportunità;

· questi meccanismi conferiscono flessibilità all'orientamento dei giovani, sdrammatizzando in parte la difficoltà delle scelte;

· le scuole tecniche e professionali possono produrre gravi disguidi perché orientano troppo precocemente in modo spesso irreversibile giovani che poi scoprono di avere imboccato una "strada secondaria";

· forse, se le professioni diverranno più flessibili ossia più ricche di tecnologia gestionale e meno di prassi consolidata, aumenterà la possibilità di maturare le proprie inclinazioni attraverso differenti esperienze di lavoro.

Che cosa possiamo fare per contribuire correttamente all'orientamento dei giovani?

Insegnare al meglio la nostra disciplina, insegnare il nostro amore per la chimica, insomma insegnare quello che siamo, in sostanza diciamo:

-Eccomi qui! Sono un esemplare di chimico, una persona che ha fatto della chimica un punto di riferimento culturale. Giudica tu se vuoi assomigliarmi o scegliere felicemente un'altra strada-

Molto apprendimento avviene per imitazione ma l'orientamento può avvenire correttamente anche attraverso un rifiuto, anzi ogni accettazione è preceduta inevitabilmente da una lunga serie di rifiuti e noi come docenti dobbiamo anche farci veicoli del rifiuto.

Avremo fatto bene il nostro lavoro anche se ci sentiremo rispondere:

-Ti ringrazio, ho capito, ma non voglio essere come te!-

ERMANNONE NICCOLI

Si porta a conoscenza degli interessati che nel sito della Divisione sono disponibili alcuni test e le soluzioni dei quesiti delle passate edizioni dei Giochi della Chimica