

CnS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

RISCALDAMENTO GLOBALE
E
CAMBIAMENTI CLIMATICI

I MUSEI DI CHIMICA IN ITALIA

LEGGERE LE FIGURE

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



Società Chimica Italiana

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

Anno XXX
Luglio - Settembre 2008

Direttore responsabile

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

Past-Editor

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

Redattore

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

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

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

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

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

Gli importi includono l'IVA e, per l'estero le spese di
spedizione via aerea

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

Ufficio Abbonamenti

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

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

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

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

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

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

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

SOMMARIO

EDITORIALE

Varie ed eventuali **123**
di *Pierluigi Riani*

DALLA COPERTINA

D. I. Mendeleev **125**
di *Francesca Turco*

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Riscaldamento globale e cambiamenti climatici:
cause ed effetti **128**
di *Luciano Lepori*

ESPERIENZE E RICERCHE

Leggere le figure. La semiotica sociale e la comunicazione
iconografica - Parte I **139**
di *Gianmarco Ieluzzi, Francesca Turco, Luigi Cerruti*

Insegnamento scientifico e autonomia cognitiva degli allievi
nell'apprendimento: un'esperienza **149**
di *Aldo Borsese, Marcella Mascarino, Patrizia Mittica,
Irene Parrachino*

Chimica, creatività, collaborazione, e C₆₀: una intervista
con Harold W. Kroto **157**
di *Liberato Cardellini*

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica
di *Valentina Domenici* **164**

LA CHIMICA NELLA STORIA

Gli atomi di Giacomo. Dalla chimica di Lavoisier al
materialismo **180**
di *Valentina Sordoni*

RUBRICHE

LETTERA AI LETTORI **186**
Imitazione, empatia e neuroni specchio
di *Ermanno Niccoli*

DALLA DIVISIONE **188**
Ricordo di Alberto Bargellini

RECENSIONI **189**
Science Instruction in the Middle and Secondary Schools
di *Liberato Cardellini*

Verifica e valutazione nei processi formativi
di *Enrico Mansueti*

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

Varie ed Eventuali

Per cominciare, il fascicolo di CnS che viene qui presentato necessita di qualche breve precisazione. L'articolo di Luciano Lepori, ricercatore del CNR in Pisa, si colloca alquanto al di fuori del pensar comune e richiede quindi qualche commento. Chiariamo subito: i commenti sono richiesti dalla pubblicazione, non dall'articolo: ci troviamo infatti di fronte a un problema politico, sul quale è opportuno fare chiarezza.

I problemi ambientali a piccolo e a grande raggio sono all'ordine del giorno. Mentre scrivo queste note sono terminati da poco a Pechino i giochi della XXIX olimpiade, e più volte si è parlato delle difficoltà dovute all'inquinamento atmosferico locale; riguardo alla responsabilità umana dell'inquinamento locale delle grandi aree urbane non possono sussistere dubbi di sorta.

Diverso è il caso dell'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, aumento che ha avuto inizio grosso modo con la rivoluzione industriale e che, al momento attuale, sembra inarrestabile. Su questo aumento, e sul conseguente "effetto serra", si fonda l'azione di numerosi gruppi ambientalisti, che contestano l'utilizzo dei combustibili fossili come unica o principale fonte di energia, e che comunque si oppongono quasi sempre anche all'uso dell'energia nucleare da fissione. Un'altra linea di tendenza, che per la verità è assai meno popolare, contesta questa impostazione sostenendo che la dipendenza dell'aumento della concentrazione di CO₂ dalla combustione dei combustibili fossili è tutt'altro che dimostrata, e che a questo fenomeno concorrono cause ben più importanti quali gli equilibri chimici riguardanti le rocce carbonatiche e le fluttuazioni di popolazione degli organismi fotosintetici marini.

Quale deve essere al riguardo la posizione di una rivista come CnS? La risposta è abbastanza scontata: non ci deve essere una posizione predefinita. CnS è una rivista di didattica della chimica, con un'impostazione per quanto possibile rigorosa; non può indulgere quindi a posizioni che hanno un carattere più politico ed emotivo che razionale e scientifico. Non si tratta di pubblicare articoli che tentano di demolire il secondo principio della termodinamica o che si battono contro il principio di conservazione della materia: si tratta piuttosto di pubblicare un intervento riguardante una materia tuttora alquanto controversa.

Naturalmente pubblicare un articolo non significa sottoscrivere le idee in esso espresse: significa piuttosto fornire un contributo al dibattito in corso. E CnS pubblicherà ben volentieri altri contributi, sia sotto la forma di articolo (dopo l'esame al quale vengono sottoposti tutti gli articoli), sia sotto forma di lettera. Come più volte è stato detto, l'apertura di un dibattito è particolarmente apprezzata. Passo ora a qualche considerazione riguardante la politica scolastica italiana. Da molti anni di pressoché totale disattenzione (con governi di centro-destra e di centro-sinistra, intendiamoci bene), la direzione che viene con decisione imboccata sembra destinata a colpire gravemente tutto il mondo scolastico, dalla scuola dell'infanzia all'università. È verissimo, la situazione finanziaria italiana è ben poco brillante, e si inserisce in un quadro internazionale debolissimo; con tutto questo la scelta di penalizzare pesantemente la formazione a tutti i livelli e la ricerca appare decisamente miope.

Vediamo le scelte operate fino ad ora, tralasciando il campo dei finanziamenti all'università e alla ricerca, per il quale le scelte effettuate da tempo portano sempre di più verso l'ingovernabilità.

- Si cerca con ogni mezzo di diminuire il numero di insegnanti, aumentando fra l'altro il numero di allievi per ogni classe: la quantità prevale sulla qualità.
- Nel contempo si studiano sistemi per accorpate le classi di concorso. Chi scrive, è cosa ben nota e che ha suscitato non poche polemiche, non è favorevole alla disarticolazione delle classi di concorso attuali (la chimica solo come classe A013, "sfilata" dalla classe A060); con tutto questo, ulteriori accorpamenti (con la fisica?) appaiono veramente poco proponibili.

- La SSIS è sospesa, e chiunque ha lavorato al suo interno sa che la sua eventuale rimessa in moto risulterà oltremodo faticosa. Si rischia seriamente di tornare al vecchio sistema dei concorsi; è vero che la SSIS è stata abolita *de jure* già da diversi anni, ma la sospensione *de facto* sembrava dover essere rinviata fino al chiarimento della situazione.

Analizziamo brevemente questi punti.

Per la riduzione del numero degli insegnanti non si guarda tanto per il sottile: oltre all'aumento del numero di studenti per ogni classe (si potrebbero superare le 30 unità) si prospettano diminuzioni di orario e, perché no, un drastico ridimensionamento di certe aree disciplinari, fra le quali stanno ovviamente le scienze sperimentali. La nostra classe dirigente non riesce proprio a staccarsi da quel modello che vede l'assoluto predominio dell'area umanistica e della matematica; possiamo citare al riguardo l'uscita di Galli della Loggia (editoriale del Corriere della Sera, 21 agosto 2008) e la puntuale risposta del presidente della SCI, prof. Luigi Campanella.

La proposta governativa è particolarmente dirompente per la scuola primaria (già scuola elementare): tornando al maestro unico si cancellano decenni di lavoro, un lavoro che aveva portato la scuola primaria italiana a un livello complessivamente assai soddisfacente. Sia ben chiaro che l'assenza di insegnanti chimici in questo livello scolastico non deve produrre disinteresse da parte della Società Chimica Italiana; del resto l'interesse della Divisione di didattica al riguardo è da qualche anno particolarmente evidente.

Per l'accorpamento delle classi di concorso, problema per il quale le notizie sono ancora molto vaghe, non resta che sperare in una prevalenza del buonsenso. Ricordiamo comunque gli episodi del passato quando, con raffazzonati corsi di poche decine di ore, si sono mandate persone a insegnare materie di cui non avevano neppure una minima infarinatura.

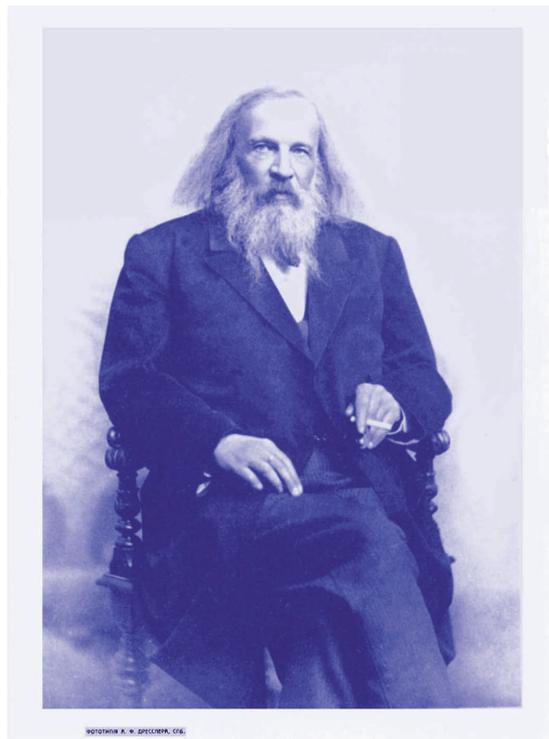
Riguardo alla sospensione della SSIS, dobbiamo notare che il progetto di modificare il sistema attraverso l'istituzione di lauree magistrali apposite (ministro Moratti) non ha avuto per ora da parte dell'università particolari attenzioni. E non si tratta di un problema da poco: un conto è la gestione di una scuola di specializzazione autonoma, un conto la gestione di corsi di laurea magistrale giocoforza dipendenti da più facoltà. Deve essere ben chiaro che non si vuole qui affermare la perfezione del sistema finora vigente: la disomogeneità delle diverse SSIS sul territorio nazionale è stata evidente, così come è stato evidente un certo carattere di improvvisazione nella definizione dei programmi di insegnamento in diverse sedi (non mancano ovviamente le lodevoli eccezioni). D'altra parte non sembra giustificata la cancellazione di una struttura la cui costruzione ha richiesto tempo e fatica, il cui livello di efficienza stava gradualmente migliorando e che, con aggiustamenti successivi, avrebbe potuto raggiungere un rendimento più che soddisfacente.

Sotto tutto serpeggia, neppur troppo nascosto, un vecchio disegno: favorire in tutti i modi la scuola privata.

Dmitrij Ivanovič Mendeleev

(Tobolsk, 1834- San Pietroburgo, 1907)

FRANCESCA TURCO



Dmitrij Ivanovič Mendeleev nacque a Tobolsk, in Siberia, il 27 gennaio 1834 (secondo il calendario giuliano in vigore in Russia, nel calendario gregoriano corrisponde all'8 febbraio), diciassettesimo figlio di Ivan Pavlovič, direttore del Ginnasio della città, e Marya Dmitrievna Kornilieva. La madre era una donna decisamente energica e dopo la nascita di Dmitrij prese in carico la sterminata famiglia, allorché il marito, reso cieco da cataratta, dovette rinunciare all'impiego. Marya Dmitrievna rimise in funzione la vetreria di proprietà della famiglia d'origine e la diresse fino a quando venne distrutta da un incendio, nel 1848. L'anno seguente, al termine degli studi secondari di Dmitrij, la madre si risolse a trasferirsi per permettergli di proseguire gli studi. Il padre era nel frattempo morto, nel 1847, e tutti gli altri fratelli, a meno di una sorella, erano ormai indipendenti, fu quindi un ristretto nucleo di tre persone a prendere la via di Mosca. Qui Dmitrij non venne accettato all'Università poiché aveva compiuto gli studi precedenti in un diverso distretto, i tre proseguirono dunque fino a San Pietroburgo, dove Dmitrij riuscì a superare gli esami di ammissione per i corsi di scienze fisico-matematiche dell'Istituto pedagogico, dove aveva studiato il padre. Ottenne pure una borsa di studio che si rivelò fondamentale poco dopo, allorché la madre, spossata, e la sorella morirono di tubercolosi: all'età di diciotto anni Dmitrij si trovò affranto e completamente solo a San Pietroburgo. Le giornate all'istituto erano cadenzate da un orario fitto e rigido, i docenti di ottimo livello; Mendeleev si calò negli studi che concluse nel 1855, primo del suo corso, presentando una tesi sull'isomorfismo. Durante gli studi si appassionò alla zoologia e alla botanica, ma venne più che tutto conquistato dalla chimica insegnata da Alexander Voskresenskij, allievo di Liebig e docente entusiasta. L'anno successivo, nel 1856, ottenne l'abilitazione all'insegnamento, tenne quindi un corso di chimica teorica nel 1857 e di chimica organica nel 1858. Nel 1859 ebbe il permesso di recarsi all'estero per motivi di studio, scelse Heidelberg perché interessato agli esperimenti di reattività condotti da Bunsen, ma non poté frequentarne molto il laboratorio: i vapori sulfurei che vi aleggiavano erano intollerabili per Mendeleev, affetto da emotosi originata da una lieve insufficienza cardiaca. Inoltre gli studenti frequentatori erano troppo caotici e inesperti per i gusti e le esigenze del chimico russo, che si allestì dunque un laboratorio privato a domicilio per condurre studi sulla capillarità e la tensione superficiale. Fu durante questi studi che definì il concetto di "temperatura assoluta di ebollizione" (temperatura critica), concetto che avrebbe comportato la possibilità di liquefare i 'gas permanenti'. Questo accadrà però solo parecchi anni più tardi, dopo che Thomas Andrews avrà riproposto il concetto corredandolo di grafici delle curve PV e validandolo con abbondanza di dati sperimentali, garantendone l'affermazione presso la comunità scientifica internazionale.

Dalla copertina

Ad Heidelberg Mendeleev conobbe Alexander Borodin con il quale si recò al congresso di Karlsruhe, dove ricevette una forte impressione dall'esposizione di Cannizzaro. Nel 1861 fece ritorno a San Pietroburgo, nel 1865 ottenne il dottorato e il titolo di Professore di Chimica all'Istituto tecnologico, per passare poi all'Università nel 1867, alla cattedra di Chimica generale. Nel 1862 sposò Feozva Nikitichna Leshcheva, con la quale ebbe tre figli: Marya, che non sopravvisse, nel 1863, Vladimir nel 1865 e Olga nel 1868. Questo primo matrimonio si rivelò decisamente mal riuscito e si concluse con la separazione allorché Mendeleev conobbe Anna Ivanovna Popova che sposò, dopo avventurose vicende, nel 1882. Con la seconda moglie crebbe altri quattro figli: Lyubov, futura moglie del poeta Alexandr Alexandrovich Blok, della quale non sembra nota la data di nascita; Ivan, nato nel 1883, Vasili e Marya nati nel 1886. Già durante gli studi Mendeleev scrisse due lavori, pubblicati sulla rivista della Società Imperiale di Mineralogia, furono i primi di una produzione sterminata. Il lavoro svolto ad Heidelberg comparve sugli *Annalen* di Liebig in undici fittissime pagine, al ritorno da Karlsruhe pubblicò un resoconto del congresso e scrisse, in meno di tre mesi, un trattato di chimica organica di quasi 500 pagine, tradotto in tedesco e riedito nel 1863. Dal tedesco e dal francese tradusse 2500 pagine di testi di chimica. Ciclopici i resoconti sullo stato dell'industria russa: incaricato dal ministro delle Finanze Sergius Witte compì lunghi e approfonditi viaggi, dagli Stati Uniti alle province russe, per valutare lo stato della produzione petrolifera (300 pagine), dell'estrazione del carbone e del ferro (900 pagine). I *Fondamenti di chimica* (1868 e 1871, prima e seconda parte rispettivamente), trattato di chimica inorganica riedito sette volte, impegna nella prima edizione poco meno di 2000 pagine, e così via: le Opere di Mendeleev constano in un totale di 57 volumi, una produzione torrenziale e al contempo rigorosa. Se ci si concede un'ipotesi di spiegazione psicologica, non stupisce affatto che un diciassettesimo-genito abbia inteso attirare l'attenzione attraverso un'attività frenetica e, al contempo, 'mettere ordine'. L'aver messo ordine è l'impresa per cui è universalmente ricordato Mendeleev, ed è pure piuttosto noto come non sia stato l'unico ad osservare il ripetersi delle proprietà degli elementi e a proporre un'organizzazione sistematica, l'impresa e la tavola periodica gli sono tuttavia giustamente attribuite in quanto la sua convinzione fu sufficientemente robusta da dargli l'ardimento di *prevedere* le proprietà di elementi ancora sconosciuti, la cui esistenza venne puntualmente confermata negli anni successivi (gallio: 1875, scandio: 1879, germanio: 1886). La robusta convinzione lo portò addirittura a correggere alcuni dati quando la successione dei pesi crescenti non corrispondeva al sistema, fu così rettificato il peso atomico del berillio, che era errato, altra grande celebrazione del potere predittivo del sistema. Verso un aumento dell'errore fu invece il tentativo di far quadrare il peso assegnato al tellurio, laddove l'ordine dei numeri atomici non segue l'andamento delle masse. La ricerca sulla periodicità degli elementi risale ai primi anni trascorsi all'Università (un primo annuncio fu fatto nel 1869 e la cospicua pubblicazione sul supplemento agli *Annalen der Chemie und Pharmacie* è del 1871), ed ebbe origine proprio da un problema di didattica: secondo quale principio ordinatore presentare gli elementi in aula. La passione di Mendeleev nell'insegnamento e la sua abilità come didatta furono d'altronde sempre esemplari, e chiaramente riconosciute dagli studenti, al punto che le sue lezioni erano affollate da iscritti alle facoltà più disparate.

T a b e l l e II.

Reihen	Gruppe I. — R ⁰	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R ⁰ ²	Gruppe IV. RH ⁴ RO ³	Gruppe V. RH ³ R ⁰ ³	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ⁰ ⁷	Gruppe VIII. — RO ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Rn=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—

Figura 1: La tabella del 1871. D. Mendeleeff: "Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente", *Annalen der Chemie und Pharmacie, Supplementband, 8*, 1871, pp. 133-229, alla p. 151.

Pressoché sconosciute sono le successive linee di ricerca dello scienziato, che pure, come si è visto, ebbe una produzione fuori dell'ordinario. Negli anni fino al 1880 si dedicò nuovamente alle proprietà dei gas, questa volta a basse pressioni, con studi rilevanti sull'atmosfera. In questa occasione non compì nessuna ascensione, ma un 'naturalista' ottocentesco non poteva esimersi da un viaggio in pallone aerostatico, viaggio che fece infatti nel 1887 per osservare un'eclissi di sole. L'impianto teorico delle ricerche sui gas era troppo lontano dal fronte della ricerca ed esse vennero repentinamente interrotte dopo l'enunciazione dell'equazione di stato di Van der Waals. Analoga sorte ebbero le successive ricerche sulle soluzioni (1883-1893). Infine tra il 1891 e il 1895 si dedicò con successo alla messa a punto di una polvere pirica. Le ricerche applicate furono d'altronde, con l'ovvia eccezione della legge periodica, il campo di maggiori successi dello scienziato russo. Si è già detto delle esaustive ricerche (che vanno ben oltre la compilazione) sulle materie prime, ricerche che contemplano la definizione di norme operative per i processi di estrazione e raffinazione. All'epoca delle ricerche sui gas Mendeleev realizzò pompe per il vuoto e manometri di elevata sensibilità, necessari per il livello di precisione richiesto dalle misure; la metrologia in generale fu un'area molto frequentata, avendolo Witte nominato direttore della Camera dei pesi e delle misure nel 1893, incarico che ricoprì fino alla morte, avvenuta il 2 febbraio 1907 a San Pietroburgo.

Le vicende che portano all'assegnazione del premio Nobel sono notoriamente tortuose, di fatto Mendeleev non lo ricevette mai, con danno di immagine più per il premio che per il nostro. Ricevette invece un centinaio di onorificenze e lauree *honoris causa*.



Per chi volesse approfondire: Il mondo ha risposto alla produzione torrenziale di Mendeleev con una produzione torrenziale *su* Mendeleev: dal *Memoriale* di Tilden, storicamente non troppo rigoroso ma sinceramente entusiasta con le sue quasi 30 pagine (W. A. Tilden, "Mendeléeff memorial lecture", *Journal of Chemical Society, Transaction*, **95**, 1909, pp. 2077-2105), al milione di risposte fornite da Google all'interrogazione "Mendeleev". Si segnala, per una 'lettura guidata' del saggio del 1871: L. Cerruti "L'orizzonte conoscitivo di D. Mendeleev. II. Uno sguardo sul sistema degli elementi", *La Chimica e l'Industria*, **67**, 1985, pp. 500-507.

RISCALDAMENTO GLOBALE E CAMBIAMENTI CLIMATICI. CAUSE ED EFFETTI

LUCIANO LEPORI

Istituto per i Processi Chimico-Fisici del CNR, via Moruzzi 1, 56124 Pisa, Italia
lepori@ipcf.cnr.it

Riassunto

L'evoluzione del clima del passato suggerisce che l'attuale riscaldamento del pianeta, come quelli precedenti, è da attribuirsi a cause cosmiche e solo in parte ad un aumento dell'effetto serra di origine antropica. Il sole, che agisce sul clima in modo diretto per irraggiamento e in modo indiretto attraverso i raggi cosmici e la nuvolosità, è probabilmente la causa principale del riscaldamento globale. Le attuali temperature rientrano nella naturale variabilità sia come valore che come rapidità di cambiamento. Le variazioni climatiche del 21° secolo non dovrebbero essere diverse da quelle passate e l'aumento di temperatura nel 2100 probabilmente non supererà 1°C e porterà più benefici che danni

1. Introduzione

Secondo l'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dell'ONU è in atto un continuo incremento nell'atmosfera di anidride carbonica (CO₂), metano ed altri gas serra minori [1]. La concentrazione di CO₂ è aumentata da 280 ppm dell'epoca preindustriale a 380 ppm, il livello più alto degli ultimi 650.000 anni. Anche la velocità di crescita (1,9 ppm/anno) è più elevata rispetto al passato. Molti climatologi [1,2] ritengono che l'incremento della CO₂ sia principalmente causato dall'attività umana (industrie, riscaldamento/raffreddamento di edifici, trasporti, etc., Fig.1a-c) e che questo produrrà un crescente effetto serra e quindi un riscaldamento eccezionale e senza precedenti del globo ed effetti catastrofici sul clima: scioglimento dei ghiacci, innalzamento del livello del mare, desertificazione di



Fig.1a. Industria. Raffineria ERG

Fonte: http://www.erg.it/ergctx/cms/ERG/it/press_room/galleria_immagini/dettaglio.jsp?codCat=2&strDesc=Industria



Fig.1b. Impianto di condizionamento

Fonte: http://www.infrontports.com/uploads/media/Overview_Visuals_E.pdf



Fig.1c. Autoparco Il Faldo, Livorno. Foto L.Lepori

zone verdi, aumento di fenomeni climatici estremi come gli uragani. Addirittura c'è chi ipotizza l'estinzione della maggioranza ($\approx 60\%$) di specie viventi [3]. Per scongiurare ciò, prima che sia troppo tardi, è stato proposto il protocollo di Kyoto con cui i paesi industrializzati si impegnano a ridurre le emissioni di CO_2 .

Certamente, se le previsioni dell'IPCC sono corrette ci attende un futuro disastroso. La situazione per fortuna non è così drammatica e la spiegazione di ciò che sta accadendo non è così semplice. È vero che il riscaldamento del pianeta è reale, ma non sappiamo se la causa dominante del riscaldamento è di origine antropica o naturale. Non è certo che l'incremento di CO_2 sia causato prevalentemente dall'uomo. Vi sono quindi notevoli incertezze nella stima dell'effetto serra e nel prevedere quale sarà nei prossimi decenni l'aumento di temperatura del globo. Non sappiamo se questo incremento porterà danni o benefici. Le misure prospettate per limitare i temuti danni sono inefficaci e pericolose. Considereremo brevemente un argomento alla volta, analizzando in particolare il clima del passato, che fornisce utili informazioni sul clima del presente e sui fattori che lo determinano.

Cos'è l'anidride carbonica?

La anidride carbonica o biossido di carbonio (CO_2) è un composto che si forma per combustione (reazione con ossigeno) di sostanze contenenti carbonio quali petrolio e derivati, carbone e legna. E' un gas incolore, inodore, più pesante dell'aria, solubile in acqua, quasi inerte e non tossico. La CO_2 si forma nella respirazione e in molti processi fermentativi. Le piante si nutrono di CO_2 per formare carboidrati nella fotosintesi clorofilliana; per questo la CO_2 viene impiegata nelle serre come fertilizzante.

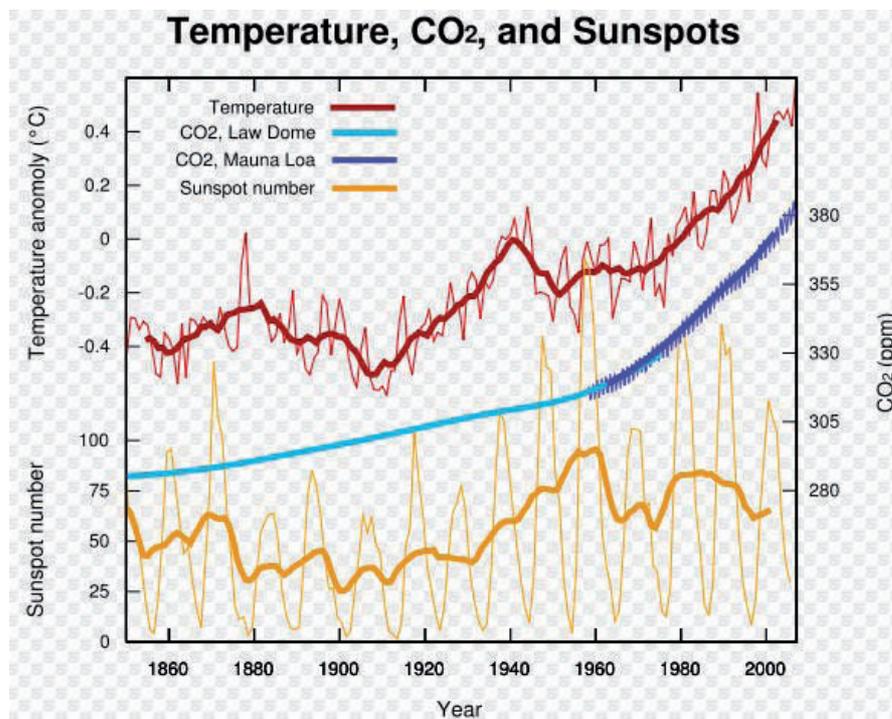


Figura 2. Temperatura, concentrazione di CO_2 , e numero di macchie solari dal 1860 al 2000.
Fonte: Wikipedia 2008 [4].

2. Il riscaldamento globale

I valori di temperatura T registrati sulla superficie del globo terrestre indicano che nel secolo scorso si è avuto un aumento della temperatura media di circa $0,7^\circ\text{C}$ (vedi Fig.2). Tale aumento è concentrato nelle regioni più fredde, nel periodo invernale e durante le ore notturne, e non in estate nelle temperature massime, come comunemente si crede. Il riscaldamento è generalmente minore sugli oceani che sulle terre emerse. Sono stati denunciati errori in più sulla T per l'effetto isola di calore urbano attorno alle stazioni di rilevazione e per la scarsa manutenzione di queste. La temperatura degli Stati Uniti, da rilievi terrestri, è aumentata di $0,2^\circ\text{C}$ tra il 1895 ed il 1997. Le stazioni costiere della Groenlandia rivelano una chiara tendenza al raffreddamento nella seconda metà del secolo scorso. L'Antartide dal 1966 si sta raffreddando. Misure effettuate dopo il 1960 da palloni sonda e dopo il 1975 da satelliti indicano aumenti di T simili ai rilevamenti di superficie, seppure alquanto incerti e di poco inferiori.

In sintesi, l'aumento di temperatura del globo è reale, forse leggermente inferiore a $0,7^\circ\text{C}/\text{secolo}$ e non uniformemente distribuito. Una conferma del riscaldamento globale (RG) e dei conseguenti cambiamenti climatici è data dall'innalzamento del livello dei mari, dai profili di temperatura di pozzi in luoghi remoti, dal ritiro dei ghiacciai, e dal progressivo anticipo nello scioglimento del ghiaccio di fiumi e laghi [3].

La temperatura media globale

La temperatura media della superficie del pianeta, $14 \pm 0,7^\circ\text{C}$, è una quantità difficilmente definibile e calcolabile. E' sostanzialmente una media spaziale e temporale di dati scelti di temperatura, provenienti da migliaia di stazioni di rilevamento non uniformemente distribuite su mari e terre emerse, in regioni tropicali, temperate e fredde, misurati di giorno e di notte, d'estate e d'inverno. Si possono ottenere medie giornaliere, mensili, e annuali.

3. Il clima del passato: la carota di ghiaccio di Vostok

Il riscaldamento globale (RG) di cui siamo testimoni è un fenomeno naturale o causato principalmente dalle emissioni di CO₂ e di altri gas serra? Una risposta, seppure non esaustiva, si può avere esaminando il clima del passato.

Nei ghiacci dell'Antartide è scritta la storia del nostro pianeta. Dall'analisi delle bollicine d'aria intrappolate nel ghiaccio si può determinare il contenuto di CO₂ (e di metano) dell'atmosfera, mentre dalla composizione isotopica dell'idrogeno e dell'ossigeno del ghiaccio alle diverse profondità si può stabilire la temperatura della superficie nelle varie ere [5]. Negli ultimi 420.000 anni, come illustrato in Fig.3, abbiamo avuto un susseguirsi, ogni 100.000 anni circa,

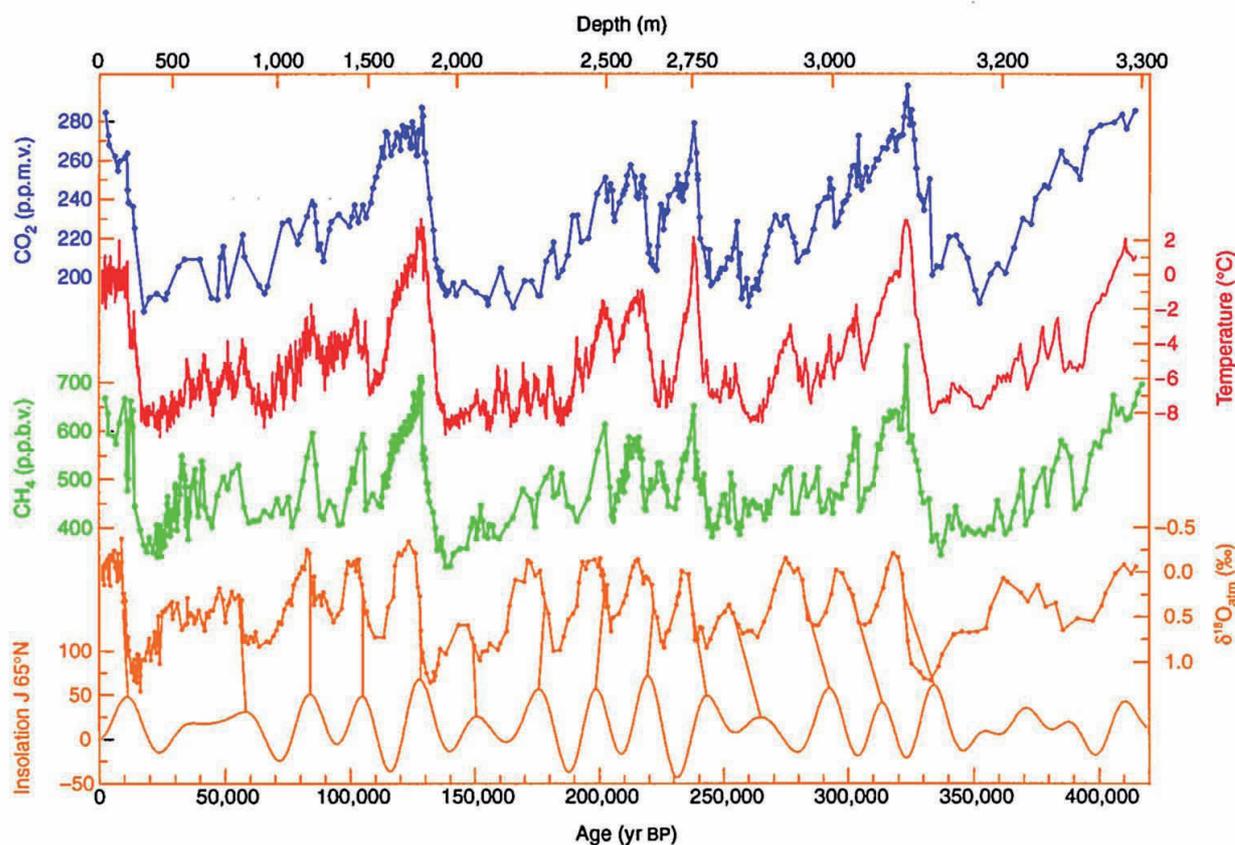


Figura 3. Concentrazione di CO₂, Temperatura, CH₄, delta ¹⁸O e insolazione nei passati 420000 anni.

Fonte: Wikipedia 2008 [4]

di ere glaciali lunghe e fredde intercalate da ere interglaciali corte (10-20.000 anni) e calde. Durante l'ultima glaciazione la temperatura era circa 8°C più bassa di oggi. Poi, 18.000 anni fa, la terra ha iniziato a scaldarsi: i ghiacci hanno smesso di avanzare, il livello del mare ha cessato di calare e si è alzato di 100 metri [6], si è formato lo stretto di Bering, le foreste hanno preso il posto del ghiaccio, alcune zone verdi sono diventate desertiche. Tutto questo è avvenuto per cause naturali, indipendenti dalle attività umane. Adesso ci troviamo in un'era interglaciale calda da 18000 anni. In un futuro più o meno lontano, probabilmente entro 5000 anni, dobbiamo attenderci il ritorno al grande freddo. Altro che riscaldamento!

L'analisi della carota di Vostok indica che la temperatura T e la CO₂ hanno avuto nel tempo un andamento altalenante, con massimi e minimi, e sono strettamente correlate, cioè ogni aumento (o diminuzione) di T è accompagnato da un aumento (o diminuzione) della concentrazione di CO₂. Ma la cosa più interessante è che ogni aumento di T precede, e non segue, quello della CO₂ di un lasso di tempo di 600±400 anni [5]. Nonostante la forte incertezza di questo dato, sembra che sia un aumento di temperatura a causare un aumento di CO₂ e non il contrario. Probabilmente molti scienziati hanno scambiato la causa con l'effetto [7].

La passata evoluzione del clima indica quindi che un incremento di CO₂ non determina necessariamente un aumento di T. Anche i rilevamenti di temperatura del secolo scorso, sembrano confermare ciò, come mostra la Fig.2. Circa la metà

Riscaldamento globale e cambiamenti climatici

del recente RG di $0,7^{\circ}\text{C}$ è avvenuto prima del 1940 e non può essere attribuito alle emissioni di CO_2 poiché gran parte della CO_2 è stata emessa dopo il 1940. Tra il 1940 ed il 1970 la temperatura è diminuita di $0,2^{\circ}\text{C}$, mentre la CO_2 aumentava fortemente. Anche tra il 1880 e il 1910 si è avuto un calo di $0,3^{\circ}\text{C}$ della temperatura accompagnato da un aumento di CO_2 (Fig.2). Se valesse la connessione $\text{CO}_2 \rightarrow \Delta T$ del passato, l'aumento di CO_2 del 20° secolo (da 290 a 370ppm) avrebbe già causato un incremento di T simile a quello (8°C) avutosi dall'ultima glaciazione ad oggi; ciò non si è verificato (vedi Fig 2). Infine negli ultimi dieci anni, dal 1997 al 2006, il riscaldamento globale si è arrestato nonostante la CO_2 continuasse a crescere [8].

4. Altri indicatori di cambiamenti di temperatura

Le passate ere glaciali dimostrano che il clima può cambiare radicalmente nell'arco di decine di millenni. Ci sono tuttavia evidenze di forti variazioni climatiche anche più recenti e nell'arco di tempi più brevi. Di questi indicatori di T (*proxy*) ve ne sono parecchi ed ottenuti in modi diversi da: carote di ghiaccio, sedimenti di fondali marini, rocce, coralli, anelli degli alberi, pollini, documenti storici. Alcuni esempi sono i seguenti: circa 12.000 anni fa nei paesi scandinavi si è passati da clima caldo a clima freddo durante un millennio. Tra il 7500 ed il 4000 BP si è avuto il cosiddetto massimo olocenico, il periodo più caldo della specie umana. Successivamente tra il 1000 ed il 1350 abbiamo avuto l'Ottimo Climatico Medioevale con temperature superiori a quelle attuali di circa 1°C , seguito da una piccola glaciazione (1400-1800) [6]. Si è avuta cioè una successione rapida ed irregolare di periodi glaciali ed interglaciali, con aumenti di temperatura fino a 10°C nell'arco di un millennio. Recentemente è stato scoperto che in Groenlandia si sono verificate drammatiche diminuzioni di temperatura in pochi secoli ed aumenti anche di 7°C nell'arco di alcuni decenni o di pochi anni.[9]

Si può quindi affermare che il presunto eccezionale ed eccezionalmente rapido cambiamento climatico a cui stiamo assistendo, non ha niente di eccezionale perché fenomeni simili ed anche di entità maggiore sono già avvenuti in passato, e non per colpa dell'uomo. Le attuali temperature probabilmente rientrano nella naturale variabilità sia come valore che come rapidità di cambiamento.

5. L'effetto serra

Il nostro pianeta riceve dal sole una enorme quantità di radiazioni, bilanciate da una uguale quantità di radiazioni riemesse nello spazio. L'atmosfera assorbe buona parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie. Così si scalda e scalda la superficie. È questa una descrizione ultrasemplificata dell'effetto serra. Una rappresentazione più realistica, impiegata nei modelli a circolazione (GCM), suppone che il calore è trasportato dalla superficie nella troposfera da movimenti di gas (convezione), che emettono nello spazio radiazioni termiche da una quota attorno ai 10Km [8]. Senza atmosfera non si avrebbe effetto serra e la temperatura del pianeta sarebbe più fredda di circa 33°C . Non tutti i gas che costituiscono l'atmosfera producono effetto serra, come ad esempio i principali componenti dell'aria, ossigeno (21%) e azoto(78%), trasparenti all'infrarosso. Tra i gas serra, di gran lunga il più importante è l'acqua (vapore, non goccioline) che ha una concentrazione ($\approx 2\%$, stima dell'autore) molto maggiore della CO_2 (0,038%) e di tutti i gas serra messi assieme, compreso il metano. Un raddoppio della CO_2 , che probabilmente non si avrebbe nemmeno dopo aver bruciato tutto il petrolio esistente, corrisponde ad un aumento complessivo dei gas serra inferiore al 2%.

6. L'effetto serra antropogenico

Mentre sull'effetto serra naturale vi è un sostanziale consenso, su quello di origine umana gli scienziati non sono d'accordo e si hanno stime molto diverse del riscaldamento futuro. I climatologi dell'IPCC prevedono per il 2100 un aumento di temperatura compreso tra $1,8$ e 4°C ($1,4$ e $5,8^{\circ}\text{C}$ nel precedente rapporto del 2001) a seconda degli scenari ipotizzati (vedi Fig.4). Ogni scenario corrisponde ad una ipotizzata concentrazione di gas serra, e il ΔT previsto è pressoché proporzionale all'incremento di CO_2 . Gli scenari A1T e B2, corrispondenti ad un raddoppio della CO_2 , prevedono un ΔT di $2,4 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Lindzen [8] sostiene che la sensibilità climatica (ΔT corrispondente ad un raddoppio di CO_2) è circa 1°C , con modelli GCM stima un riscaldamento ai tropici (20S-20N) di $0,4^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, e ritiene che solo 1/3 dell'attuale RG sia dovuto all'aumento dell'effetto serra. Altri [10] estrapolando linearmente le misure di T al suolo, prevedono un ΔT di $1,3^{\circ}\text{C}$. Hieb [6] considerando l'acqua come il principale gas serra, stima che solamente lo 0,28% dell'effetto serra sia di origine umana. Infine Khilyuk e Chilingar [7], con un modello adiabatico che tiene conto del trasferimento di calore per convezione, calcolano che un raddoppio della CO_2 provocherà un aumento di temperatura di appena $0,01^{\circ}\text{C}$. L'autore, assumendo che il 98% dell'effetto serra sia naturale e solo il 2% antropogenico (con la CO_2 raddoppiata), stima grossolanamente un aumento di T di $0,7^{\circ}\text{C}$ ($33 \times 0,02$) trascurando l'effetto *feedback* del vapor d'acqua; assumendo invece che la metà del recente riscaldamento di $0,7^{\circ}\text{C}$ sia imputabile all'aumento (36%) di CO_2 da 280 a 380ppm, ottiene con una semplice proporzione un valore del ΔT di 1°C .

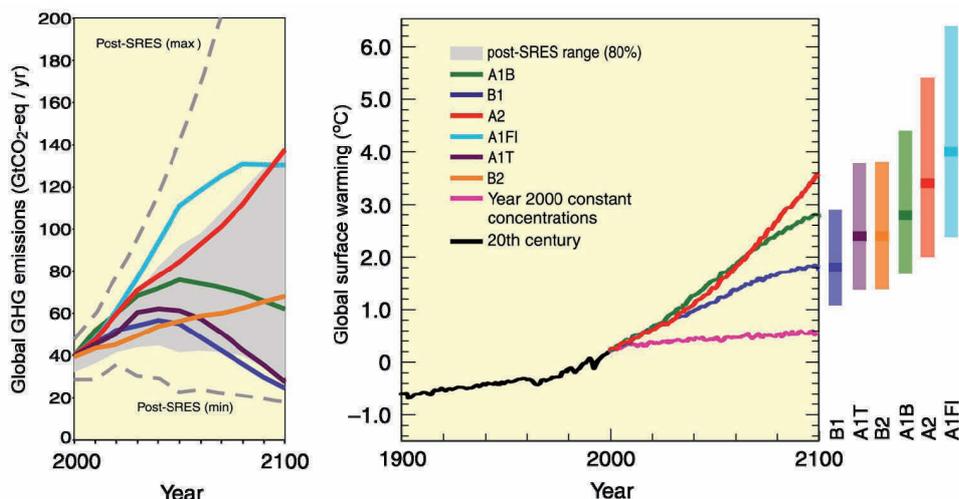


Figura 4. Proiezioni IPCC del riscaldamento globale.
Fonte: IPCC 2007 [1].

7. I modelli per la previsione del clima

Per prevedere la temperatura ed il clima del pianeta vengono comunemente usati dei modelli matematici più o meno complessi. Come per le previsioni meteorologiche l'atmosfera è suddivisa in tante celle ed in ognuna di queste si fissano le condizioni iniziali temperatura, pressione, umidità, composizione, velocità del vento, insolazione, etc. Utilizzando alcune equazioni fondamentali si fa evolvere nel tempo la situazione e si calcolano i valori futuri delle grandezze fisiche per ogni cella. Si prova il modello cercando di "prevedere" le evoluzioni climatiche del passato. Se queste non sono riprodotte correttamente si modificano le condizioni iniziali ed i parametri del modello finché non si ottengono le "previsioni" giuste. Data l'enorme complessità del problema è questo il modo migliore di procedere.

I climatologi dell'IPCC osservano che i modelli riproducono l'attuale riscaldamento globale solo a patto che siano incluse le emissioni antropogeniche dei gas serra e pertanto ritengono che vi sia una ben distinguibile influenza umana sui cambiamenti climatici [2]. Inoltre affermano che è estremamente probabile (95%) che il riscaldamento sia prevalentemente (92,5%) antropogenico [1]. Questa opinione non è unanimemente condivisa perché: 1) I modelli assumono che l'attuale concentrazione di CO₂ antropogenica in atmosfera sia il 26% con tempo di vita media di 30 anni, ed una parte (1/5) di questa che rimane nell'atmosfera per millenni. Segalstad [11] invece, da misure di delta ¹³C ottiene una percentuale di CO₂ antropogenica del 4% con una permanenza di 5,4 anni. Se ciò fosse vero, cadrebbero le basi e l'attendibilità dei modelli e delle proiezioni IPCC. 2) I modelli non potranno mai prevedere il clima futuro, finché non sapranno predire l'attività del sole e dei vulcani. 3) I modelli contengono dei parametri aggiustabili (con effetti positivi e negativi sul ΔT), e un modello costruito su un numero sufficientemente elevato di parametri è in grado di riprodurre qualsiasi fenomeno, qualunque siano i dati di partenza. 4) Le simulazioni non sono in grado di riprodurre in modo sufficientemente accurato l'andamento di T del passato. 5) C'è una forte incertezza nel valutare il *radiative forcing* degli aerosol e dei vulcani (elevato e negativo) [1]. 6) È difficile valutare l'effetto delle nuvole sul clima (vedi riquadro) poiché sono scarse le conoscenze sulla fisica delle nuvole [1]. 7) Tutti i modelli sovrastimano il RG poiché tengono conto solo delle amplificazioni (*feedback*) positive e trascurano quelle negative [8], ad esempio quella del vapore acqueo. 8) I modelli GMC prevedono che un aumento di CO₂ provochi un riscaldamento della troposfera 2-3 volte maggiore del ΔT alla su-perficie, ma questo maggiore ΔT della troposfera non è osservato dalle misure satellitari [8,12]; questo fatto da solo sarebbe sufficiente a considerare inattendibili le stime di RG dell'IPCC. 9) Tutti i modelli prevedono che un incremento di CO₂ è accompagnato da riscaldamento, mentre ciò non accade sempre (vedi Sezione 3); fermo restando che i gas serra producono riscaldamento, l'evidenza dei fatti indica che il ruolo della CO₂ non è dominante: probabilmente qualche componente del *radiative forcing* o qualche fattore che determina il clima è sottostimato o ignorato.

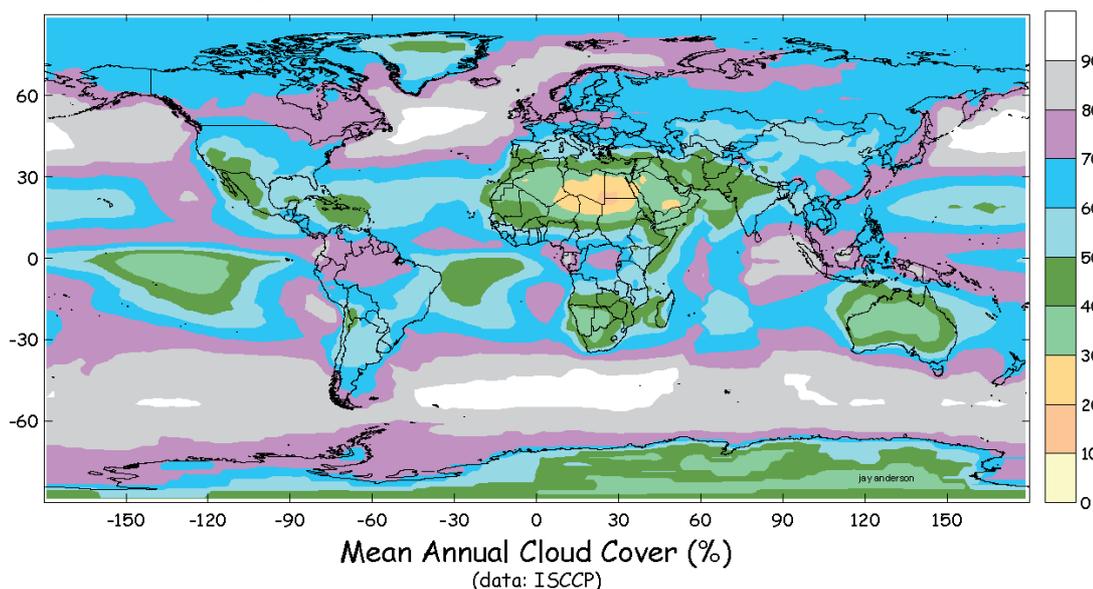
Oltre alle ragioni sopra esposte, le proiezioni per il 2100 fatte con modelli sono poco affidabili perché si riferiscono ad un futuro molto lontano. Ogni scenario si basa su certe determinate assunzioni tecnologiche, economiche e sociali sullo sviluppo dell'umanità nel 21° secolo, che in ultima analisi si riflettono sulle future emissioni di CO₂ [1]. Le assunzioni per il 2100 su: a) cambiamenti tecnologici nella produzione di energia; b) incremento della popolazione; c) crescita economica dei paesi in via di sviluppo; d) durata delle fonti energetiche di origine fossile; ben difficilmente sono corrette ed è praticamente impossibile che siano corrette tutte simultaneamente. A conferma di ciò l'incertezza del riscaldamento previsto è molto elevata (vedi Fig.4) e la probabilità che uno scenario ha di realizzarsi non viene riportata.

In altre parole, non si può dire qual è per il 2100 lo scenario più attendibile.

Le nuvole

Sono masse di goccioline d'acqua o di aghetti di ghiaccio formate per condensazione atmosferica attorno a nuclei di polvere, fumo, ioni, etc. La copertura nuvolosa è mediamente pari al 60-80% della superficie del globo come illustrato nelle Figs.5 e 6. Data l'enorme superficie interessata, è molto probabile che una piccola variazione % della nuvolosità produca notevoli variazioni climatiche. L'effetto delle nuvole sul clima è duplice e difficilmente quantificabile. Un aumento della copertura nuvolosa diminuisce l'irraggiamento solare riflettendo parte delle radiazioni (raffreddamento, effetto prevalente), ma nello stesso tempo aumenta l'effetto serra trattenendo le radiazioni termiche emesse dalla superficie (riscaldamento).

Figura 5. Copertura nuvolosa(%) del pianeta, media annua.



Fonte: ISCCP <http://home.cc.umanitoba.ca/~jander/clouds/globalclouds.html>



Figura 6. Il globo con nuvole.

Fonte: http://images.search.yahoo.com/search/images?_adv_prop=image&fr=yfp-t-501&va=nasa+earth&sz=all

Da cosa dipende il clima della terra?

Le principali cause delle variazioni di temperatura del nostro pianeta sono le seguenti [6].

- 1) Cause cosmiche o astronomiche come: rotazione della terra intorno al sole su orbita ellittica (periodo di 1 anno); variazione dell'attività solare (periodi di 11, 90 e 206 anni); rotazione della direzione dell'asse terrestre o precessione degli equinozi (periodo 21000 anni); variazione dell'inclinazione dell'asse di rotazione (periodo 41000 anni); variazione dell'eccentricità dell'ellisse dell'orbita (periodo 100.000 anni). Variazioni del flusso di raggi cosmici (periodo 100 milioni di anni).
- 2) Cause atmosferiche come variazioni dell'effetto serra di alcuni gas dell'atmosfera (acqua, CO₂, metano) e variazioni del potere riflettente di nuvole, polveri vulcaniche, e calotte polari di ghiaccio.
- 3) Cause tettoniche: deriva dei continenti con conseguenti cambiamenti delle correnti oceaniche, e variazioni del fondo e dei rilievi sottomarini che causano lo spostamento degli oceani.

8. Il sole e il clima

Le variazioni di clima e di temperatura del nostro pianeta possono essere dovute a fenomeni: a) cosmici, b) atmosferici, c) tettonici (vedi riquadro). Le remote evoluzioni del clima molto probabilmente sono da attribuirsi a cause cosmiche o astronomiche, come suggerisce la periodicità dei dati paleoclimatici. È da escludere senza ombra di dubbio l'influenza umana sulle forti variazioni di CO₂ e T del passato, quando la popolazione era molto meno numerosa di adesso e l'industrializzazione inesistente. Dato che un incremento di CO₂ non provoca necessariamente riscaldamento e che un aumento di T causa un incremento di CO₂ e non il contrario (vedi Sezione 3) è probabile che anche l'attuale riscaldamento, come quelli del passato, sia da attribuirsi a cause cosmiche e solo in parte ad un aumento dell'effetto serra di origine antropica. Anche gli aumenti di temperatura riscontrati recentemente in alcuni pianeti del sistema solare sono attribuibili a cause cosmiche.

È noto che l'attività solare (Fig.7) o numero delle macchie (*sunspot*) è correlata ai cambiamenti climatici, sia recenti che passati. Ad esempio nella Fig.8 sono riportate la curva della temperatura dell'emisfero settentrionale e la curva della durata del ciclo solare nel periodo 1750-1980. Dopo il 1985 le due curve divergono (T aumenta mentre l'attività solare diminuisce, vedi Fig.2), suggerendo che l'effetto serra contribuisce al recente riscaldamento.

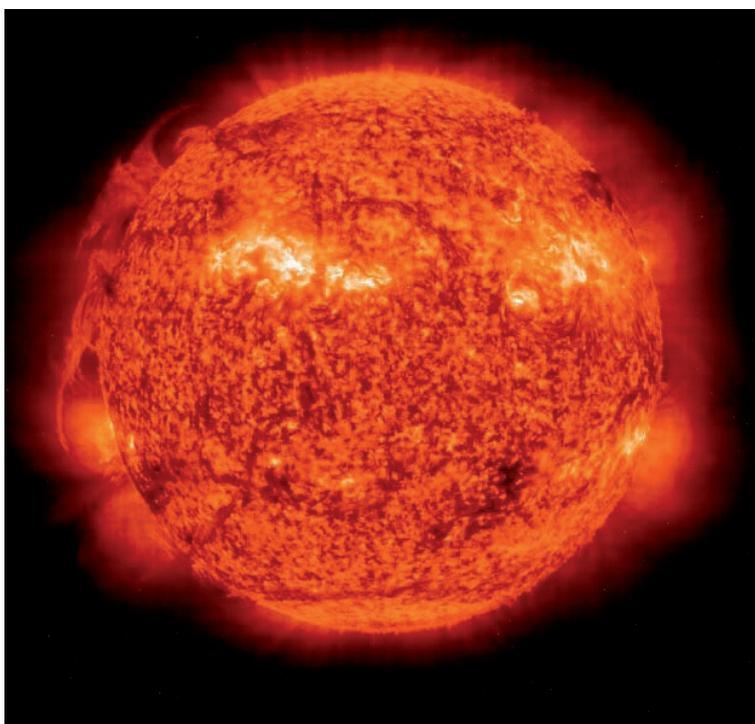


Fig.7. Il Sole

Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/bestofsoho.html>

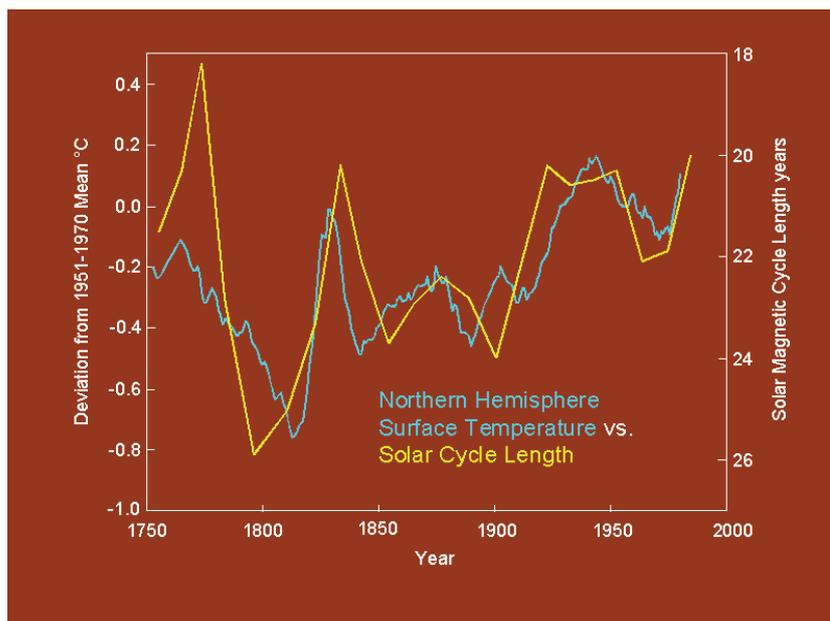


Figura 8. Attività solare e temperatura
Fonte: Robinson 2001 [13]

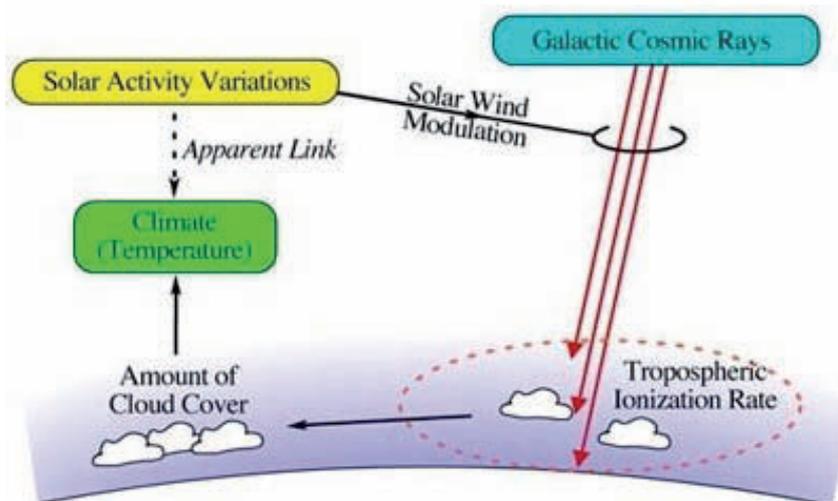


Figura 9. Correlazione, attraverso i raggi cosmici, tra attività solare e clima.
Fonte: Shaviv 2005 [14]

Le piccole variazioni di irraggiamento solare (3W/m^2 corrispondenti a 0.2%) sono insufficienti per spiegare variazioni di temperatura maggiori di 0.16°C . Probabilmente entra in gioco qualche effetto amplificatore della attività solare [14,15]. Uno di questi potrebbe essere l'assorbimento della radiazione UV nella stratosfera. Un aumento della radiazione non termica emessa dal sole produce notevoli cambiamenti nella stratosfera e, attraverso un meccanismo di circolazione dell'aria umida, un aumento dell'irraggiamento sulla superficie del globo.

Un altro fenomeno, probabilmente il più importante, contribuisce ad amplificare l'attività solare. Come mostrato nello schema di Fig.9, variazioni della attività e del vento solare, modulando i raggi cosmici, producono variazioni della ionizzazione della troposfera che induce la formazione di nuvole. In altre parole, un aumento del vento solare, riducendo il flusso di raggi cosmici (CRF), riduce le formazioni nuvolose producendo un riscaldamento tanto maggiore quanto maggiore è l'attività solare [14]. La correlazione tra raggi cosmici e copertura nuvolosa è illustrata in Fig.10.

È stato osservato che nel periodo 1984-1991 (tra il 60° parallelo S ed il 60° N) una diminuzione dell'attività solare ha causato un aumento del CRF, con conseguente aumento del 3-4% della nuvolosità ed un raffreddamento del clima [2]. È difficile fare previsioni sulla attività solare. Il prossimo periodo di attività solare ridotta (lunga durata del ciclo di macchie solari) potrebbe iniziare attorno al 2020.

Riassumendo, il sole agisce sul clima sia in modo diretto (irraggiamento $\rightarrow \Delta T$), sia in modo indiretto attraverso i raggi cosmici e la nuvolosità. È questo un modo per spiegare il riscaldamento globale, tutto o in parte, senza ricorrere all'effetto serra della CO_2 . Shaviv stima che l'aumento di luminosità solare e la corrispondente diminuzione del flusso di raggi cosmici del 20° secolo hanno provocato un riscaldamento di $0,37 \pm 0,13^\circ C$, equivalente a 2/3 del riscaldamento osservato. [15]

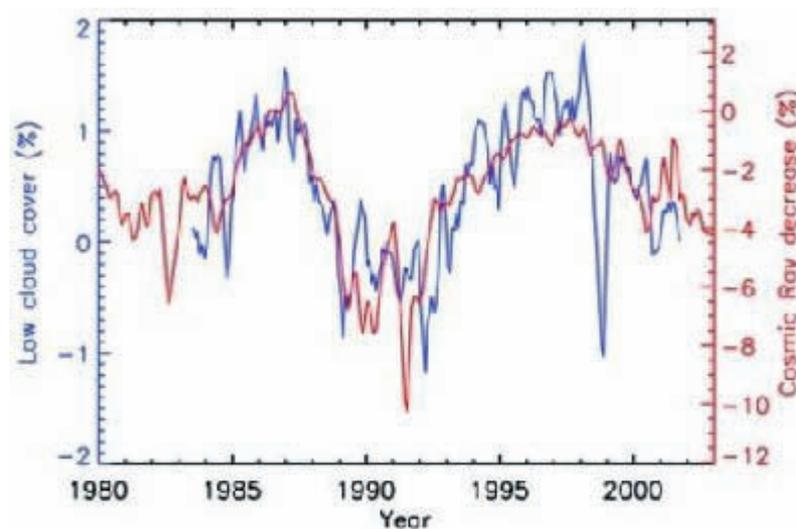


Figura 10. Correlazione tra raggi cosmici e copertura nuvolosa.
Fonte: Shaviv 2005 [14]

9. Le conseguenze del riscaldamento

Da uno studio sui principali effetti negativi e positivi di un aumento di temperatura risulta quanto segue [10].

1) La ricchezza prodotta nel 2100 sarebbe dell'1-2% inferiore a quello che si avrebbe senza riscaldamento. 2) Il livello dei mari alla fine del secolo si alzerà nel peggiore degli scenari di 0,59 m (IPCC 2007) [1], una evenienza che anche i paesi più poveri saprebbero fronteggiare. 3) La frequenza dei fenomeni meteorologici estremi non dovrebbe aumentare. Le tempeste infatti sono originate dalla differenza di temperatura tra i poli ed i tropici, che diminuisce con il riscaldamento del pianeta. 4) Ci sarà un incremento della mortalità per caldo anomalo. È noto tuttavia che il freddo estremo favorisce i decessi più del caldo estremo. Dato che il riscaldamento globale determinerà maggiori aumenti di T nelle stagioni fredde, esso complessivamente potrebbe determinare un beneficio. 5) Danni all'agricoltura dei paesi poveri si avrebbero solo in presenza di un rapido ed irrealistico aumento della temperatura maggiore di $4^\circ C$. Un modesto riscaldamento di $1-2^\circ C$ invece produrrebbe benefici all'agricoltura, specialmente se accompagnato da un incremento della CO_2 . È noto che la CO_2 è cibo per le piante ed agisce come fertilizzante. In sintesi, un riscaldamento del pianeta produrrà, nel complesso, più effetti positivi che negativi.

10. Misure per la riduzione dei gas serra

Il protocollo di Kyoto (PdK) impone ai paesi industrializzati (non a quelli in via di sviluppo) di ridurre entro il 2012 le emissioni di gas serra nella misura del 5% rispetto a quelle del 1990. È questo un provvedimento per prevenire pericolose interferenze umane sul clima, preso in base al principio di precauzione, in assenza di una completa conoscenza del problema. Numerosi esempi, tra cui il bando del DDT, del nucleare e degli OGM, dimostrano quanto rischiosa sia l'applicazione del principio di precauzione [9]. È stato stimato che il contenimento delle emissioni provocherebbe da qui al 2100 una riduzione della temperatura di $0,15^\circ C$, cioè il temuto riscaldamento sarebbe $0,15^\circ C$ più basso. I benefici derivanti dall'applicazione del PdK sarebbero quindi ben poca cosa: ad esempio il minor aumento del livello del mare sarebbe pari a 2,5 cm [10].

Mentre i benefici sarebbero minimi, si avrebbero gravi danni per rendere operativo il Protocollo. Prima di tutto una minor crescita economica dei paesi obbligati a ridurre le emissioni (Stati Uniti, Europa, Giappone ed altri paesi industrializzati), con costi enormi: riduzione del PIL, disoccupazione, aumento del prezzo del gasolio, della benzina e

Riscaldamento globale e cambiamenti climatici

dell'energia elettrica. La minor crescita economica dei paesi sviluppati avrebbe ripercussioni negative anche sui paesi poveri riducendo le loro esportazioni [10].

Nel Luglio 2005 è stato annunciato dai *media* un accordo "oltre Kyoto" tra USA, Australia, Cina, Giappone, India, Corea del Sud, con l'obiettivo di ridurre i gas serra attraverso l'impiego di nuove tecnologie pulite, ma senza sacrificare lo sviluppo economico, sfruttando il carbone pulito, l'idrogeno, il nucleare, l'energia idroelettrica, solare ed eolica. I sei paesi sottoscrittori rappresentano il 45% della popolazione mondiale ed il 48% del consumo di energia e di emissione di gas serra.

11. Conclusioni

Il riscaldamento del pianeta è reale. Che esso sia di origine antropica è una opinione o teoria fondata sostanzialmente sui risultati di modelli numerici. Vista l'evoluzione del clima nel passato, l'attuale riscaldamento non ha niente di eccezionale e non è da attribuire all'uomo se non in parte, ma al sole. L'aumento di temperatura nel 2100 probabilmente non supererà 1°C (ad attività solare costante), e porterà più benefici che danni. Al contrario le misure del PdK volte a ridurre i danni avrebbero scarsa efficacia e gravi conseguenze economiche.

Diffidiamo delle previsioni catastrofiche: le variazioni climatiche che ci attendono non sono diverse da quelle passate e l'uomo è sempre sopravvissuto ad esse. Non interveniamo se non vi sono pericoli scientificamente accertati, e se l'intervento comporta più costi che benefici. Intanto, dato che il petrolio è destinato ad esaurirsi presto, cerchiamo di risparmiare e soprattutto utilizzare fonti di energia alternative.

Riferimenti

- [1] IPCC 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. <http://www.ipcc.ch>
- [2] IPCC 2001. *Climate change 2001: The scientific Basis*, Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch>
- [3] J.Hansen, M.Sato, R.Ruedy, K.Lo, D.W.Lea, M.Medina-Elizade, *Global temperature change*, PNAS 2006, 103,14288-14293.
- [4] Wikipedia 2008 http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_variation <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Co2-temperature-plot.svg>
- [5] J.R.Petit et al. 1999. *Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the Vostok ice core*, Antarctica, Nature, 399, 429-436.
- [6] M.Hieb, 2007. *Global Warming: A Chilling Perspective*, http://www.geocraft.com/WVFossils/ice_ages.html
- [7] L.F.Khilyuk,G.V.Chilingar, 2003, *Global Warming: Are We Confusing Cause and Effect?* Energy Sources, 25, 357-370.
- [8] R.S.Lindzen, 2007, *Taking Greenhouse Warming Seriously*, Energy & Environment, 18, 935-948;
- Riscaldamento globale: trovare le risposte o dilazionare il problema?* 21mo Secolo. Scienza e Tecnologia, n.4-2007.
- [9] F.Battaglia, 2004. *I Costi della Non Scienza: il Principio di Precauzione*, Galileo 2001 <http://www.Galileo2001.it>
- [10] F.Ramella, 2004. *Greenhouse Effect: Be Prudent, Look Before You Leap*. Science & Environmental Policy Project www.sepp.org/Archive/NewSEPP/Ramella%20English1.htm
- [11] T.V.Segalstad,1997. *The distribution of CO₂ between atmosphere, hydrosphere, and lithosphere; minimal influence from anthropogenic CO₂ on the global "Greenhouse Effect"* <http://folk.uio.no/tomvs/esef/esef0.htm>
- [12] D.H.Douglass, J.R.Christy, B.D.Pearson, S.F.Singer, 2007. *A comparison of tropical temperature trends with model predictions*, Int. J. Climatol. DOI: 10.1002/joc.1651.
- [13] A.B.Robinson, N.E.Robinson, W.Soon, 2001. *Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide*. Petition Project <http://www.oism.org/pproject/s33p36.htm> Aggiornamento nel 2007.
- [14] N.J.Shaviv, 2005. *Cosmic Rays and Climate*, PhysicaPlus, Issue N°5 http://physicaplus.org/il/zope/home/en/1105389911/1113511992_en/
- [15] N.J.Shaviv, 2005. *On climate response to changes in the cosmic ray flux and radiative budget*, J.Geophys.Res.110 A08105, doi:10.1029/2004JA010866. http://arxiv.org/PS_cache/physics/pdf/0409/0409123v1.pdf



L'AUTORE

Luciano Lepori, laureato in Chimica, ricercatore CNR presso l'Istituto per i Processi Chimico-Fisici nell'area di ricerca di S. Cataldo a Pisa, studia da una vita le proprietà termodinamiche e la struttura delle soluzioni. È stato professore universitario ed enologo. Di recente si interessa ai problemi dell'ambiente. e-mail: lepori@ipcf.cnr.it
cv: <http://h2.ipcf.cnr.it/luciano/>

LEGGERE LE FIGURE

I. La semiotica sociale e la comunicazione iconografica

GIANMARCO IELUZZI, FRANCESCA TURCO, LUIGI CERRUTI

Dip. di Chimica Generale ed Organica Applicata Corso Massimo d'Azeglio, 48 – Torino
gianmarco.ieluzzi@unito.it

Leggere le figure è il titolo di un interessante libro sui processi di insegnamento/apprendimento della lettura nella scuola per l'infanzia.¹ Abbiamo scelto lo stesso titolo perché nei suoi fondamenti cognitivi la funzione dell'iconografia nella comunicazione scientifica è del tutto simile a quella che viene assegnata alle 'figure' nei libri per i piccoli: associare la comprensione verbale della lettura del testo all'analisi percettiva delle illustrazioni. Certamente gli esiti cognitivi per i bimbi sono diversi da quelli realizzati (realizzabili) dagli studenti, e prima di loro dagli insegnanti, ma ciò che può preoccupare chi si interessa di educazione scientifica è la sostanziale mancanza di un atteggiamento riflessivo degli educatori, quasi sempre passivi rispetto all'uso acritico e torrenziale delle immagini 'scientifiche' degli autori di libri, articoli e pagine web. Se non si interviene con una forte spinta critica questa situazione non può che peggiorare drammaticamente, dato un rapidissimo ed aggressivo sviluppo tecnologico che alimenta il diluvio iconografico. La comunicazione iconografica sta sommergendo la comunicazione linguistica, ridotta ad uno stato residuale.

Nell'accingerci ad una ricerca mirata ad indagare il significato delle illustrazioni di un testo di chimica siamo consapevoli che dovremo arrestarci proprio là dove il 'lavoro didattico' diventerebbe più interessante, e cioè dove il lettore delle immagini non è più un docente universitario o della scuola secondaria, ma è un allievo degli appena citati personaggi, che si presumono adeguatamente colti. Nella realtà sociale non esistono 'lettori ideali', capaci di decodificare tutti i livelli di significato presenti nell'illustrazione; nemmeno l'autore è il lettore ideale di se stesso. Se è ovvio che le intenzioni comunicative degli autori sono messe alla prova soltanto dai destinatari finali del messaggio iconografico, è altrettanto chiaro che, nei casi che più ci interessano, una verifica empirica delle modalità di ricezione da parte degli allievi può essere avviata solo dopo aver costruito un apparato teorico di riferimento, leggero e robusto. Scopo di questa serie di articoli è di affiancare alla presentazione degli strumenti più comuni dell'indagine sociosemiotica una applicazione di questi stessi strumenti ad illustrazioni tratte dalle fonti più diverse, classiche o attuali, allo scopo di offrire un utile repertorio di esempi.

La semiotica sociale

Che la semiotica sia uno «studio dei segni in seno alla vita sociale»² è stata un'idea presente fin dall'inizio nella storia della sociologia, ma è passato parecchio tempo prima che le significazioni sociali divenissero l'oggetto di studio principale della disciplina. L'ostacolo che si è dovuto superare è stato di natura epistemologica: la sociologia e la semiotica hanno dovuto riconoscere di avere un oggetto di studio comune, un campo d'analisi pertinente ad ambedue le discipline. La sociosemiotica indaga infatti i sistemi dei segni che variamente articolati producono senso nel loro contesto sociale. Per segno si deve intendere non solo il linguaggio, ma qualunque testo poiché qualunque sistema segnico, verbale e non, contribuisce alla 'riproduzione sociale', che è «insieme di tutti i processi per mezzo dei quali una comunità o società sopravvive, accrescendosi o almeno continuando ad esistere».³ La produzione, lo scambio ed il consumo sono i momenti di tale riproduzione sociale, e quindi un sistema segnico porta con sé il carattere della sua trasformazione. In questa prospettiva è stato così possibile abbandonare la dicotomia tra testo e contesto, riflesso della opposizione tra semiotica e sociologia. Se il testo era oggetto d'elezione della prima disciplina, che lo studiava nella sua intera estensione, la seconda, invece, si preoccupava dell'analisi dell'uso che del testo veniva fatto. Per un semiologo oramai tutto ciò che produce senso è oggetto della sua indagine: qualunque testo, anche di natura non linguistica (un'immagine, un utensile,...) non esaurisce le sue competenze, ma tutto ciò che produce significato (un programma televisivo, una campagna elettorale,...) è pertinente alla sua indagine. «Testo, insomma, non è secondo la semiotica un oggetto ma un modello».⁴ Il testo è così superato a vantaggio di uno studio d'insieme che, tenendo conto delle pratiche sociali e delle condizioni d'uso, rende ragione del senso generato dal sistema segnico. Il superamento dell'opposizione tra testo e contesto ha permesso inoltre l'introduzione del concetto di 'discorso', poiché un testo articola un discorso: il testo, di qualunque genere sia, non è soltanto una mera trasmissione di contenuti, bensì «presenta al suo interno anche un'immagine della situazione comunicativa in cui si trova, del suo mittente e del suo destinatario, e così facendo detta le

1. E. Catarsi, *Leggere le figure. Il libro nell'asilo nido e nella scuola dell'infanzia*, Tirrenia, Edizioni del Cerro, 1999; «Leggere le figure» è anche il titolo di una collana di libri per l'infanzia di Mondadori.

2. F. de Saussure, *Cours de linguistique générale*, Paris: Payot, 1979, p. 33.

3. F. Rossi-Landi, *Metodica filosofica e scienza dei segni*, Milano: Bompiani, 1985, pag. 238.

4. N. Dusi, <http://mastercultstud.altervista.org/archivio.html>, 10 ottobre 2006.

Leggere le figure

regole pratiche per la sua fruizione. Ogni testo, in altre parole, svolge un discorso, nel senso che si inserisce in un modello generico che, da un lato, lo trascende e, dall'altro, esso stesso contribuisce a creare».⁵

La scienza della significazione ha potuto pertanto fornire un formidabile apparato concettuale atto a indagare variegati fenomeni di carattere sociale. Nonostante la tentazione, certamente riduttiva, di considerare la semiotica sociale una metodologia d'indagine utile alle scienze umane, la sociosemiotica rivendica un preciso e differente statuto epistemologico rispetto a tali scienze. È l'esame critico, infatti, la pratica investigativa che la sociosemiotica esercita come sua specificità. La parola critica è usata proprio perché filosoficamente evocativa: è da intendersi sia nell'accezione kantiana di analisi delle *condizioni di possibilità del senso e della socialità* sia nell'accezione dello svelamento della *connotazione ideologica della manifestazione del senso nella società*. Tale impostazione si è rivelata molto fertile. Recentemente infatti Gunter Kress e Robert Hodge⁶, che hanno raccolto l'eredità di Michael Halliday⁷, hanno proposto la nozione di 'sistemi logonomici', come «a set of rules prescribing the conditions for production and reception of meanings», indicando con precisione i sistemi di produzione e di ricezione, ossia coloro che producono e ricevono i significati sociali. Con Landowski⁸ si è aperta la possibilità di studiare in modo profondo l'opinione pubblica come vero e proprio personaggio 'attante', potendone ricostruire la sintassi, la semantica e la pragmatica.

La semiotica punta così a ricostruire i processi di significazione che sono presenti nei fenomeni sociali, non fermandosi alle appariscenti manifestazioni del sociale ma ricercando le procedure di senso che tali manifestazioni rendono possibili.

Gli spaghetti di Roland Barthes

Nel 1964 lo scrittore e semiologo francese Roland Barthes pubblicò sulla rivista *Communications* un saggio che forniva importanti strumenti di analisi sociosemiotica delle immagini, a partire dall'esame del manifesto pubblicitario riprodotto in Figura 1. Abbiamo scelto di avviare la nostra indagine dalle proposte contenute in questo articolo non solo per il loro intrinseco valore, ma anche perché alcune delle finalità con cui sono proposte le immagini pubblicitarie non sono lontane da quelle proprie delle immagini scientifiche.



Figura 1

Manifesto pubblicitario utilizzato da Barthes nel 1964 per elaborare la proposta di una 'retorica dell'immagine'

5. Ibidem.

6. R. Hodge, G. Kress, *Social Semiotics*, Oxford: Polity, 1988, pag. 4.

7. M. A. K. Halliday, *Language as Social Semiotic*, London: Arnold, trad. it. a cura di D. Calleri, *Il linguaggio come semiotica sociale*, Bologna: Zanichelli, 1983.

8. E. Landowski, *La société réfléchie* (1989), trad. it. di M. La Matina e R. Pellerey, *La società riflessa*, Roma: Meltemi, 1999.

Nell'introduzione all'articolo Barthes pone il problema della molteplicità dei messaggi contenuti in una immagine, e presenta le sue intenzioni di ricerca con la metafora scientifica di "una analisi spettrale" dei messaggi. Ed è per facilitare il compito che viene scelta un'immagine pubblicitaria. "Perché?", si chiede Barthes, e si risponde immediatamente: "Perché nella pubblicità il significato dell'immagine è indubbiamente intenzionale; i significati del messaggio pubblicitario sono formati a priori da certi attributi del prodotto e questi significati devono essere trasmessi il più chiaramente possibile", e aggiunge: "Se l'immagine contiene segni, possiamo essere sicuri che nella pubblicità questi segni sono pieni, formati in previsione di una lettura ottimale: l'immagine pubblicitaria è franca, o almeno enfatica".⁹ È qui molto evidente il carattere pragmatico dell'immagine pubblicitaria e quindi il suo nesso con l'immagine scientifica: in entrambi i casi sono presenti nell'immagine significati molteplici, "formati *a priori* da certi attributi" dell'oggetto in questione, e in entrambi i casi tutto è finalizzato ad una "lettura ottimale".¹⁰ Barthes prosegue suddividendo in tre parti il sistema di significati veicolati dal manifesto riferendosi a tre tipi diversi di messaggi: linguistico, iconico codificato e iconico non codificato. I messaggi linguistici compaiono sia sull'etichetta dei prodotti, sia nel testo a parte che costituisce una sorta di didascalia dell'immagine. La 'italianità' dei prodotti è richiamata e resa esplicita dalla didascalia. Il messaggio complessivo codificato rinvia a diverse connotazioni, quali 'freschezza', 'abbondanza', e ancora 'italianità' (i tre colori presenti nelle verdure). Il messaggio non codificato è semplicemente il 'ciò che è' della fotografia. La *italianità* connotata dalla pasta Panzani è omologa della *scientificità* di molta iconografia scientifica (vedi oltre).

Oltre che sui tre tipi diversi di messaggio iconografico Barthes attira l'attenzione sulla duplice funzione del messaggio linguistico trasmesso dai testi presenti nel manifesto, e introduce due termini 'tecnici': ancoraggio (nel testo francese: *ancrage*) e ricambio (nel testo francese: *relais*). Nell'*ancoraggio* "il testo dirige il lettore attraverso i significati dell'immagine [...], controllandolo a distanza verso un significato scelto in anticipo";¹¹ in un sistema di *ricambio* "testo e immagine stanno in una relazione complementare [...] e l'unità del messaggio è realizzata al livello della storia, dell'aneddoto, della diegenesi"; in molti casi reali ancoraggio e ricambio sono compresenti e "la dominanza dell'uno o dell'altro è la conseguenza dell'economia generale di un lavoro".¹² Infine Barthes afferma che si deve sempre considerare l'immagine anche come un significante complessivo, e che l'immagine fotografica - in particolare - gioca un ruolo molto particolare perché facendo assumere al messaggio il particolare valore di essere un'esatta replica della realtà "naturalizza il messaggio simbolico [...] rendendo innocente l'artificio semantico della connotazione".¹³ Va comunque ricordato che pure la semplice lettura naturalistica di un'immagine fotografica richiede un sapere antropologico, per cui nella pubblicità degli spaghetti Panzani riconosciamo, ad esempio, cipolle e peperoni.

Nella comunicazione iconografica l'ancoraggio è in molti casi indispensabile: per quasi tutti i lettori l'immagine di un giovane barbuto diventa il ritratto di Stanislas Cannizzaro solo dopo aver letto la didascalia; lo stesso meccanismo vale per quasi tutte le immagini scientifiche, anche quelle più naturalistiche come le fotografie di minerali. Anche il ricambio¹⁴ è spesso importante: come interpretare un grafico senza conoscere le grandezze e le unità di misura a cui si riferiscono le coordinate? Come conoscere l'andamento relativo delle grandezze diagrammate senza le linee tracciate nel diagramma? Però una immagine è per sua stessa natura polisemica, e questo significa che sotto i segni significanti prolifera una interminabile "catena fluttuante" di significati, e si deve rendere il lettore in grado di scegliere alcuni dei significati e di ignorarne altri: Barthes parla di "terrore dei segni incerti" e del linguaggio verbale che "*fissa* la catena fluttuante dei significati".¹⁵ Quindi l'ancoraggio svolge un ruolo ben più complesso di quello di una semplice delucidazione: Barthes chiarisce che il testo inserito nella/riferito alla immagine rappresenta il "diritto di ispezione del creatore, e quindi della società, sull'immagine", è una forma di controllo: "Rispetto alla libertà dei significati dell'immagine, il testo ha così un valore *repressivo* e possiamo vedere che è a questo livello soprattutto che sono investite la moralità e l'ideologia di una società".¹⁶

Già la scelta di un messaggio pubblicitario fa sì che in tutto il saggio di Barthes traspiri la pressione delle convenzioni sociali (francesi),¹⁷ ma l'Autore ha comunque ragione quando sottolinea il carattere vincolante e ideologico

9. R. Barthes. "Rhetoric of the Image", in: *Image, Music, Text*, ed. trad. ingl. di Stephen Heath. New York: Hill and Wang, 1977, pp. 32-51, cit. alla p. 33.

10. Notiamo fin d'ora che la nozione di "lettura ottimale" non rinvia ad un lettore 'ideale' o 'universale' ma ad una classe di lettori ritenuti competenti rispetto ai codici di lettura dell'immagine.

11. Rif. 9, pp. 39-40.

12. Rif. 9, p. 41; per 'diegenesi' si intende l'aspetto narrativo del discorso.

13. Rif. 9, p. 45.

14. Forse la parola [relais] si sarebbe potuta tradurre più letteralmente [staffetta] ma nella pubblicistica italiana pertinente prevale [ricambio].

15. Rif. 9, p. 39; corsivo nel testo di Barthes.

16. Rif. 9, p. 40; corsivo nel testo di Barthes.

17. Rispetto alla connotazione di 'italianità' degli spaghetti, evidenziata dallo stesso Barthes in riferimento ai lettori francesi, si deve ricordare il dispregiativo francese [macaroni], con cui, nella prima metà del XX secolo, venivano convenzionalmente indicati gli emigranti italiani in Francia e Belgio.

dei testi. Quanto al loro aspetto 'repressivo' si potrebbe rendere meno greve l'opinione del filosofo francese, rievocando la *organizzazione del consenso* così cara a tutti i regimi autoritari, le cui finalità erano - comunque - un po' più perverse di quelle dei pubblicitari.

L'insegnante virtuale di Microsoft



Figura 2

Dai tempi dell'analisi di Barthes le tecniche pubblicitarie e la grafica si sono sviluppate a dismisura, e hanno trovato un pubblico 'da sogno' su internet. Infatti la pubblicità sulla rete incontra spesso un pubblico che è ad un tempo vastissimo e selezionato.

L'immagine si presenta a noi nella sua immediatezza, pur essendo un sistema complesso di informazioni. La percepiamo infatti come un unico organico, con una giusta proporzione delle parti tra loro e delle parti verso il tutto. La scena riporta una situazione familiare al retroterra culturale di ciascuno e mira alla persuasione del messaggio mediante l'idealità della scena, difficilmente riscontrabile nella realtà fattuale. L'organicità della scena dice però anche la sua complessità, che può essere evidenziata tramite un'accurata analisi strutturale. Partiamo dallo spazio da cui l'osservatore viene posto per visionare la scena: è uno spazio che passa dalla distanza personale (lo spazio a destra) alla prossimità sociale (a sinistra e lo sfondo). È un'angolazione scelta per coinvolgere l'osservatore nella scena: siamo quasi tentati, come le due ragazzine sulla sinistra, di afferrare gli oggetti virtuali inseriti nella pubblicità, di partecipare con loro all'attività didattica. E d'altro canto ci sentiamo inseriti nell'ambiente della classe, ne facciamo parte grazie a questa prospettiva che ritrae l'ambiente spezzando la scrivania su cui lavorano le due ragazzine, o per meglio dire lasciandoci immaginare di essere noi all'altro lato della scrivania, partecipi di questa avventura didattica. Possiamo dire ancora di più, ossia che l'altezza dello scatto fotografico ci mette alla stessa altezza dell'insegnante: siamo proiettati in questo contesto dallo stesso punto di osservazione, come se anche noi fossimo inseriti nell'attività docente, ma con la vista d'insieme sulla classe e non rivolta verso il basso come l'insegnante. Siamo, insomma, come risucchiati dentro l'immagine ma con una distanza, una prospettiva e un punto di vista precisi: siamo presenti nella scena davanti cui ci posizioniamo come se potessimo interagire, osserviamo la scena come se ne facessimo parte e in più la contempliamo come se fossimo novelli insegnanti. Questo perché afferriamo la scena con uno sguardo d'insieme totalizzante, cioè potendo tenere sott'occhio la scena complessiva mediante una vista panoramica con cui sommiamo i particolari reali e virtuali e dunque nello stesso momento intuiamo la potenza evocatrice del messaggio pubblicitario. È potenza evocatrice perché richiama il nostro passato di formazione e tuttavia lo idealizza, sicché l'immagine è costruita con una *ars suadendi* che le conferisce una sua propria potenza. La presenza delle figure umane è studiata per essere funzione del messaggio da veicolare. Sono infatti inseriti con modalità tali da far sentire a proprio agio l'osservatore: non guardano diritto nell'immagine per evitare un qualunque coinvolgimento emotivo ma sono ritratti nella loro attività; l'osservatore pertanto guarda la scena senza essere osservato, ma non da un piano furtivo ma come invitato. L'ambientazione della scena, l'uso dei colori pastello, il sorriso rilassato concorrono a creare il clima di benessere in cui l'osservatore si trova immerso.

Passiamo al valore informativo che la struttura dell'immagine ci fornisce. Iniziamo con l'analizzare l'asse sinistra-destra: a sinistra troviamo la realtà della classe ripresa nell'abituale attività didattica, nella sua realtà fattuale. A poco a poco

che lo sguardo passa verso destra percepiamo la collocazione di elementi virtuali disegnati ma inseriti nell'ambiente come fossero parte integrante della realtà: iniziando con un piccolo robot che si arrampica su per un banco arriviamo a una vasta presenza di questi oggetti disegnati che sono in numero sempre crescente e di dimensioni maggiori, culminando nell'androide-docente. Sono elementi grafici inseriti come una nuova realtà da connotare e su cui fa leva la persuasione pubblicitaria. Vengono inseriti intorno e in contatto con le due ragazzine in piedi a destra, addirittura a una prossimità così familiare da non poter fare a meno di pensare che se possono far parte dell'intimità di due ragazzine certamente non sono pericolose, tantomeno da evitare. Anzi, facendo leva sugli affetti umani verso i bambini e i ragazzini la pubblicità ci induce a pensare che non solo codesti oggetti non siano dannosi, anzi siano da avere vicino, da ricercare.

L'asse motorio dal basso verso l'alto si focalizza su due punti principali: la posizione della scritta e la posizione eretta della docente e dell'androide. Da una base fisica fatta di banchi scolastici la scena si alza seguendo principalmente lo sviluppo delle figure presenti, sedute (ed è il caso delle figure non protagoniste) e in piedi (quelle protagoniste). Gli altri elementi presenti (pannelli, scaffali, mappamondo, ...) servono a contestualizzare la scena e a imprimere il 'calore' necessario per fare sentire l'osservatore in un ambiente familiare. La scritta collocata in alto e a sinistra ci suggerisce che il messaggio riportato costituisce già un dato di fatto, è strada percorribile, non più solo potenza nella mente di qualcuno ma atto a portata di tutti (e per inciso, di tutti quelli che possono permetterselo, ma il discorso sull'accessibilità al prodotto non viene sfiorato).

La posizione dell'insegnante umana e di quella virtuale deve essere compresa all'interno della scena, perché ci mostra la salienza del messaggio visivo che si esplica in modo particolare su due accenti: uno tonico minore e uno tonico maggiore. Il primo, quello minore, si pone in corrispondenza dell'insegnante umana: escludendo le due ragazzine che sono in piedi sulla destra, la disposizione degli altri allievi e dell'insegnante disegna un triangolo con un vertice in corrispondenza dell'insegnante stessa, facendo cadere in questo modo la nostra attenzione su di lei. Ma sia l'ombreggiatura della scritta (presente anche per l'altra figura in piedi), sia una prossimità maggiore con le figure sulla destra, ci fanno muovere lo sguardo e l'attenzione alle due ragazzine in piedi e all'insegnante robotizzato. In questo caso è ancora più marcata la presenza di un triangolo che quasi si sovrappone (perché visto in prospettiva ci è più vicino) all'altro appena descritto. Un lato di questo triangolo maggiore inizia con il robot che si arrampica e arriva alla testa dell'androide, che costituisce un vertice da cui parte l'altro lato seguendo proprio l'inclinazione della testa. La base è formata da tutti gli oggetti virtuali disposti sul banco. L'accento tonico maggiore si pone dunque su questa scena triangolare e in modo particolare sul robot-docente, che quasi si dispone, piegando la testa come l'insegnante reale, non solo a un'attività didattica ma quasi a protezione delle due ragazzine, quasi fosse un abbraccio.

Due triangoli, dunque, con al vertice due figure di insegnati, ambedue disposte simmetricamente rispetto a un asse che dall'alto in basso divide a metà la scena, e tuttavia riportate con due ordini di grandezza diversa. Ma la simmetria implica che l'insegnante in carne ed ossa, piegando la testa per insegnare, guardi a sinistra, alla realtà di fatto, mentre l'insegnante virtuale guardi a destra, verso il nuovo che è però a portata di mano, quasi bastasse allungarla per poterne constatare la presenza.

La scritta promozionale (l'*ancrage* di Barthes) trova così la sua giustificazione: nuovi insegnanti sono formati e nuovi stimoli vengono prodotti agli studenti. È una scena incentrata, lo comprendiamo bene alla fine dell'analisi, sullo sguardo: lo sguardo è la chiave di lettura della scena e noi siamo chiamati a vedere una nuova realtà, a contemplarla, riprendendo un termine usato all'inizio. Contempliamo perché è un nuovo vedere quello a cui ci esorta la scritta: 'Vediamo nuovi talenti e nuove idee.' Dunque siamo come partecipi di una realtà nuova, di un nuovo mondo e (quasi) dimentichiamo che è tutto così nuovo proprio perché non esiste.

La perdita dell'innocenza: gli orbitali di Linus Pauling

L'immagine 'realistica' di Figura 1 e quella già più manipolata di Figura 2 ci hanno permesso di avviare l'indagine sulla complessità della comunicazione iconografica, ma vogliamo fin d'ora togliere ogni eventuale illusione che l'apparato iconografico di più schietto 'taglio' scientifico sia neutro, privo di connotazioni e distorsioni. È lo stesso carattere sociale della comunicazione che suggerisce, e talvolta impone, queste connotazioni e distorsioni. Il caso della rappresentazione grafica degli orbitali atomici è assolutamente emblematico, sia per la sua soverchiante diffusione in ambito didattico, sia per gli errori concettuali e gli stravolgimenti grafici coinvolti nei testi e nelle illustrazioni. La questione dell'uso degli orbitali nella didattica della scuola secondaria è stata discussa più volte; per la nitidezza dell'impostazione richiamiamo l'attenzione dei lettori su due contributi di Paolo Mirone, come fondamentale lettura *a latere* della nostra analisi sociosemiotica.¹⁸

Linus Pauling (1901-1994) introdusse le funzioni d'onda approssimate che chiamiamo orbitali ibridi in un fondamentale articolo del 1931, il primo di una lunga serie sulla "Natura del legame chimico".¹⁹ Si trattò di un contribu-

18. P. Mirone, "Che cos'è un orbitale?" *CnS*, **2**, pp. 8-15 (1980); P. Mirone, "Orbitali con svista", *CnS*, **22**, pp. 6-7, (2000); P. Mirone, "Gli orbitali sono realmente necessari nell'insegnamento della chimica di base?", *CnS*, **25**, pp. 103-107 (2003).

19. L. Pauling, "The Nature of the Chemical Bond. Applications of Results Obtained from the Quantum Mechanics and from the Theory of Paramagnetic Susceptibility to the Structure of Molecules", *J. Am. Chem. Soc.*, **53**, pp. 1367-1400 (1931).

Leggere le figure

to poderoso, dominato dal punto di vista teorico dal concetto di risonanza;²⁰ qui non compare ancora la parola *orbital* in riferimento a certe funzioni d'onda, ma Pauling parla ancora di autofunzioni, con un significato fisico particolare attribuito alle 'autofunzioni di legame' Ψ_A e Ψ_B (*bond eigenfunctions*), le autofunzioni monoelettroniche i cui prodotti $\Psi_A(1) \Psi_B(2) \Psi_A^*(2) \Psi_B^*(1)$ compaiono negli integrali cosiddetti di risonanza. Pauling fa notare che nel calcolo variazionale dell'energia di legame gli integrali 'di risonanza' sono particolarmente importanti per il loro valore, negativo e cospicuo in valore assoluto. Le funzioni Ψ_A e Ψ_B svolgono quindi una funzione essenziale: "gli integrali di risonanza dipendono da ciò che può essere chiamata *sovrapposizione (overlapping)* delle autofunzioni monoelettroniche coinvolte".²¹ Il nostro Autore assume come guida dei suoi ragionamenti l'indubbia direzionalità del legame chimico in molte strutture molecolari: "le due autofunzioni di legame Ψ_A e Ψ_B mostrano la massima sovrapposizione nella regione fra i due nuclei".²² A questo punto Pauling considera le autofunzioni *s* e *p*, espresse nella ormai consueta terna di coordinate polari, constata che la parte radiale "non differisce molto nel loro valore medio di *r*", accentra l'attenzione sulla parte angolare delle autofunzioni e giunge ad una constatazione determinante per la sua elaborazione: "*s* ha simmetria sferica, con il valore 1 in tutte le direzioni. $|p_x|$ consiste di due sfere come mostrato [in Figura 3], con il massimo valore $\sqrt{3}$ lungo l'asse *x*". Di qui la conclusione enfaticata dal corsivo: "*gli elettroni p formeranno legami più forti degli elettroni s*".²³

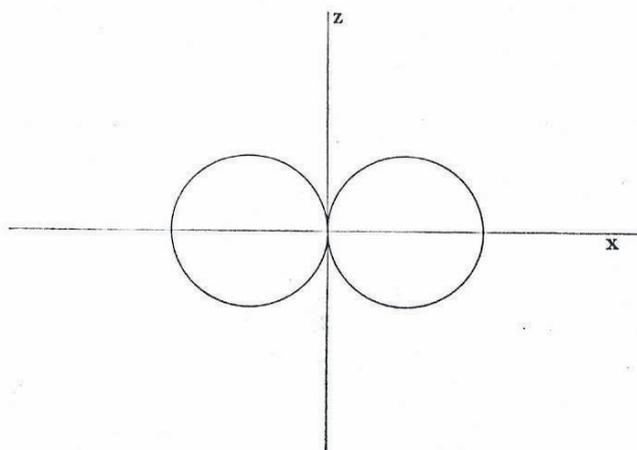


Fig. 2.—Polar graph of $|\sqrt{3} \sin \theta|$ in the *xz* plane, representing the p_x eigenfunction.

Figura 3
Grafico di Linus Pauling, 1931

Come si vede in Figura 3 la didascalia scritta da Pauling chiarisce che si tratta della rappresentazione di una funzione in coordinate polari. Le tre funzioni *p* hanno un orientamento spaziale secondo i tre assi cartesiani ortogonali, così non sono adatte a 'giustificare' i legami tetraedrici degli atomi di carbonio nei composti organici. Sempre inseguendo la direzionalità dei legami Pauling esegue ancora altre mosse interessanti. La formazione di un legame può essere inteso come un fenomeno perturbativo, per il cui studio quantistico sono necessarie opportune funzioni di ordine zero. Allo scopo di poterle formare con combinazioni lineari di funzioni *s* e *p* è necessario che sia annullata la differenza di energia esistente fra di loro nello stato non perturbato, e a questa condizione Pauling ritiene che "Le autofunzioni di ordine zero saranno allora quegli aggregati (*aggregates*) ortogonali e normalizzati delle autofunzioni *s* e *p*, che darebbero i legami più forti".²⁴ L'annullamento della differenza di energia porta a quello che Pauling chiama "rottura della quantizzazione *s-p*". Ma non basta ancora il fatto che d'ufficio le funzioni *s* e *p* non abbiano più un differente numero quantico *l*, si deve anche ammettere che "la dipendenza da *r* delle autofunzioni idrogenoidi *s* e *p* non sia molto differente".²⁵ Dopo questi due 'tormenti quantistici' Pauling può finalmente scrivere le combinazioni lineari delle parti angolari delle autofunzioni *s* e *p*, e calcolare i coefficienti in modo tale che "la migliore autofunzione di legame sarà quella che ha il

20. Non è questa la sede per discutere l'inconsistenza fisica di questa descrizione che si basava - e spesso si basa tuttora - su un'analogia completamente inadeguata della risonanza fra due diapason identici e la 'risonanza' fra due diverse distribuzioni dicariche nella stessa struttura microscopica.

21. Rif. 19, p. 1370. Gli storici esitano a scrivere frasi del tipo "è la prima volta che ..."; in ogni caso il fatto che Pauling usi il corsivo per evidenziare la parola *overlapping* significa che essa non era di uso corrente nel senso attribuitole nel contesto dei calcoli quantistici.

22. Loc. cit.

23. Rif. 19, p. 1371.

24. Rif. 19, p. 1375.

25. Rif. 19, p. 1376.

valore maggiore nella direzione del legame”.²⁶

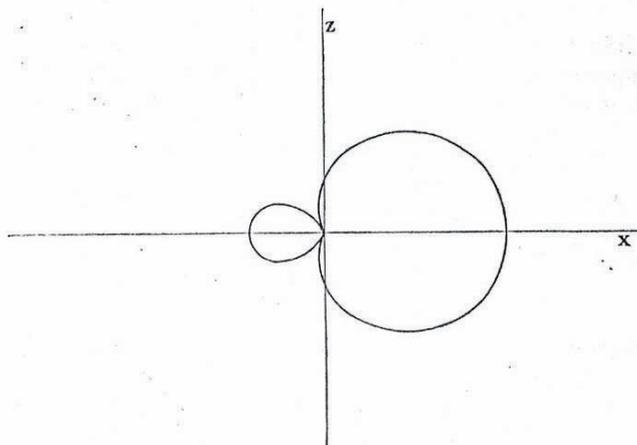


Fig. 3.—Polar graph of $|\frac{1}{2} + \frac{3}{2} \sin \theta|$ in the xz plane, representing a tetrahedral eigenfunction, the best bond eigenfunction which can be formed from s and p eigenfunctions.

Figura 4
Grafico di Linus Pauling, 1931

Pauling presenta il grafico di una “autofunzione tetraedrica” (Figura 4) e nella didascalia sottolinea che si tratta della “migliore autofunzione di legame che può essere formata dalle autofunzioni s e p ”.

Il monumentale articolo di Pauling prosegue ancora per venti pagine, ma noi possiamo interrompere la nostra lettura per andare a cogliere un successivo adattamento della comunicazione iconografica adottato dal nostro Autore. Nel 1935 Pauling pubblicò con lo spettroscopista Edgar Bright Wilson (1908-1992) un importante testo di “Introduzione alla meccanica quantistica, con applicazioni alla chimica”. Qui gli Autori affermano che “Seguendo Mulliken ci riferiremo occasionalmente a funzioni d’onda orbitali monoelettroniche, quali le funzioni d’onda idrogenoidi, come ad *orbitali*”.²⁷

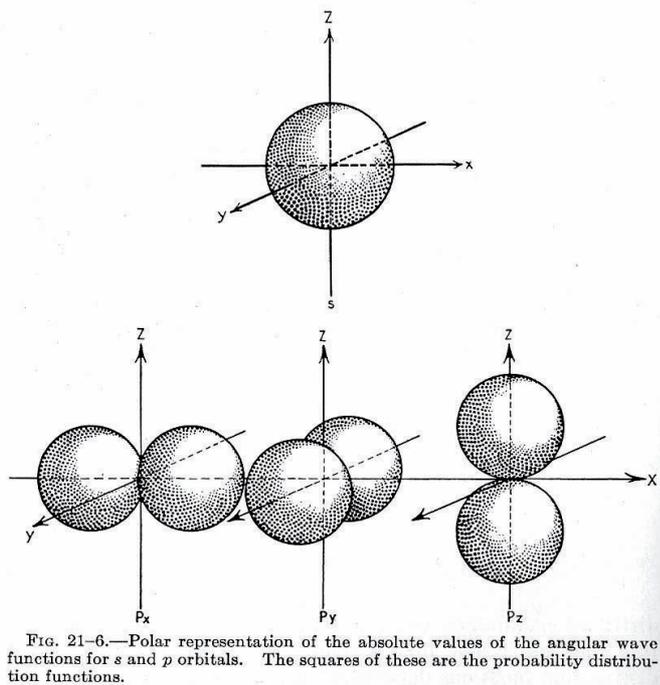


FIG. 21-6.—Polar representation of the absolute values of the angular wave functions for s and p orbitals. The squares of these are the probability distribution functions.

Figura 5
Grafico di Pauling e Bright Wilson, 1935

26. Grafico di Pauling e Bright Wilson, 1935. Rif. 19, p. 1377.

27. L. Pauling, E. Bright Wilson, *Introduction to Quantum Mechanics. With Applications to Chemistry*, New York, McGraw-Hill, 1935, p. 137.

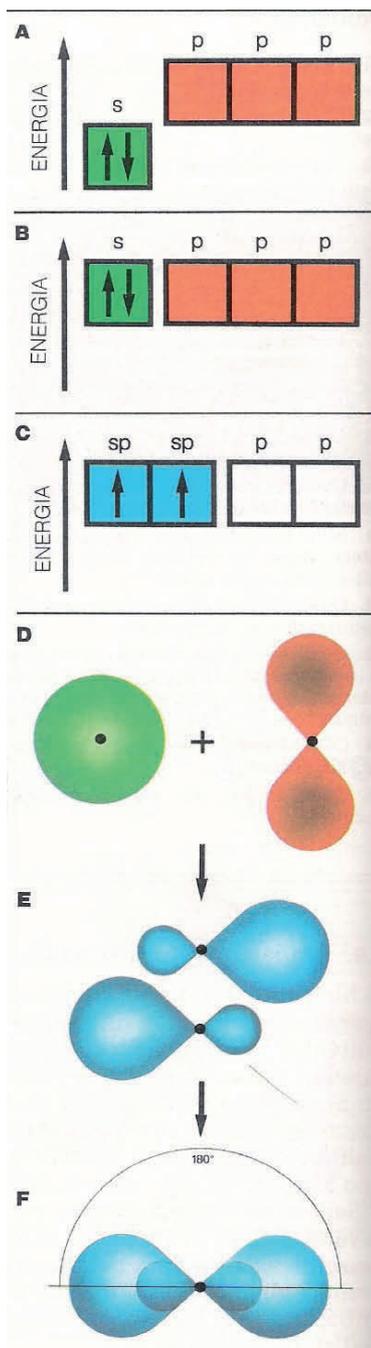


Figura 6
Illustrazione dal testo di Mario Rippa, 1992

Il testo che i due Autori dedicano alla discussione della dipendenza delle funzioni d'onda dagli angoli θ e φ è redatto in perfetto stile fisico-matematico, corredato da una pagina a mezza di immagini dedicate ai grafici polari delle funzioni $\{\Theta_{lm}(\theta)\}^2$. Non troviamo nulla di appetibile dal punto di vista dell'immediatezza ontologica, poi, con uno scarto imprevedibile, nell'ultima pagina del capitolo compare l'illustrazione che riprendiamo in Figura 5. La didascalia è particolarmente esplicativa, e va oltre la denotazione dell'immagine: "Rappresentazione polare dei valori assoluti delle funzioni d'onda angolari per gli orbitali s e p . I quadrati di queste [funzioni] sono le funzioni di distribuzione della probabilità".²⁸ Non sappiamo se la Figura 5 sia proprio l'atto di nascita degli orbitali che colonizzano i nostri libri di testo, tuttavia la forte ombreggiatura risponde all'evidente intenzione di 'materializzare' gli orbitali, che non a caso sono citati nella didascalia.

Nel 1939 Pauling pubblicava *The Nature of the Chemical Bond*, un'opera destinata a diventare una delle più famose della letteratura scientifica del Novecento. Il libro ebbe un immediato successo, con una seconda edizione nel 1940 e quattro ristampe fino al 1946.²⁹ Dal nostro punto di vista iconografico il volume non riserva sorprese, mentre nel testo gli orbitali hanno ormai un forte rilievo. Gli orbitali ibridi sono introdotti nel Capitolo III, sotto il cui titolo leggiamo una nota che rinvia come fonte principale all'articolo del 1931, da noi già commentato. Il termine *hybrid* è introdotto senza alcuna spiegazione particolare, prima nel titolo del paragrafo 14, poi nel testo a commento di una figura identica a quella pubblicata nel 1931 (vedi Figura 4): "Si trova che un orbitale di legame formato dalla combinazione lineare di orbitali s e p [...] ha una forza di legame maggiore di quella di un orbitale s o p da solo, la forza del miglior orbitale di legame ibrido $s-p$ essendo di grandezza 2". In questo passo cruciale non si parla più di funzioni, ma solo più di orbitali, e lo stesso accade nella didascalia della figura, dove ora si legge: "La dipendenza angolare di un orbitale tetraedrico con la direzione di legame lungo l'asse x ". Pauling è intenzionato a concedere un ampio *bonus* realistico a quello che dovrebbe rimanere un espediente matematico: "Si può comprendere che questo orbitale si sovrapporrebbe grandemente con l'orbitale di un altro atomo, e formerebbe un legame molto forte. Ci aspettiamo che questa ibridizzazione abbia luogo, affinché l'energia di legame possa essere un massimo".³⁰ Nei suoi esaurienti lavori Mirone ha documentato l'ampiezza della diffusione degli orbitali, e ha messo in evidenza ambiguità concettuali, esitazioni e veri e propri errori dei vari autori da lui censiti.

Nell'ambito della nostra ricerca iconografica non è necessario inventariare le innumerevoli immagini di 'orbitali' che si trovano nei libri di testo. A semplice titolo di esempio riportiamo una illustrazione tratta da una vecchia edizione di un testo di amplissima diffusione.

Ripercorriamo brevemente l'itinerario testuale che porta alla Figura 6. L'orbitale viene presentato senza alcuna esitazione come "regione dello spazio, intorno al nucleo, dove vi è per lo meno il 90% di probabilità di trovare l'elettrone", ed anche come "regione dello spazio, intorno al nucleo, in cui l'elettrone passa più del 90% del suo tempo". Non vi è nessun riferimento a funzioni matematiche di qualsiasi tipo, e i numeri quantici non sono altro che

28. *Ib.*, p. 150.

29. Questa è la data di edizione della copia acquistata a Torino: L. Pauling, *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals*, Ithaca, Cornell UP, 1946.

30. Rif. 29, p. 82. Mirone ha già messo in evidenza questo passo, facendo risalire giustamente a Pauling la responsabilità dell'uso realistico degli orbitali.

indici: “Le dimensioni, la forma e l’orientazione nello spazio dei vari orbitali sono descritte da tre tipi di numeri, chiamati quantici”.³¹ Il linguaggio utilizzato nel testo è ricco di espressioni figurate: “Un orbitale s è una nube elettronica a forma sferica”,³² “Ogni orbitale p ha la forma di due gocce d’acqua unite per la parte più piccola”,³³ ma il vertice della creatività è raggiunto a proposito dell’ibridazione degli orbitali che viene collocata in un esplicito contesto biologico.

Il paragrafo 4.9 dal titolo “Ibridazione degli orbitali” inizia con la frase “In biologia il termine ibridazione indica un incrocio tra individui di specie diverse”. “Il mulo, per esempio è un ibrido nato dall’incrocio di un asino con una cavalla. [...] Nell’ibridazione degli orbitali [...] due orbitali di tipo diverso danno orbitali diversi da quelli di partenza”.³⁴ Il presunto processo di ibridazione è ‘spiegato’ in dettaglio sia nel testo principale sia nella didascalia, che qui riprendiamo, anche in riferimento alla Figura 6: “Ibridazione sp . Un atomo di berillio [A] assume energia e porta il suo orbitale s allo stesso livello energetico degli orbitali p [B]. Un elettrone passa dall’ s al p [C], e i due orbitali con singoletto [D] si fondono per dare due orbitali [E] ibridi che si dispongono sullo stesso asse, ma capovolti. L’atomo ha ora due orbitali uguali con singoletto e può formare due legami covalenti uguali con altri due atomi con singoletto [F]”.³⁵ Al di là del racconto, frutto di fantasia e totalmente inconsistente da punto di vista chimico-fisico, l’Autore del testo si è inventato un gergo personale, intendendo con l’espressione *singoletto* non il rinvio ad uno stato spettroscopico (comunque inappropriato in questo contesto) ma la presenza di un singolo elettrone nell’orbitale. Per altro l’Autore non è avaro nell’esplicitare le sue intenzioni didattiche: “Da ora in poi, per semplificare il discorso, diremo «atomo ibridato» invece di dire «atomo con gli orbitali più esterni ibridati»”.³⁶ È anche possibile che seguendo il discorso del testo, e ‘aiutati’ dalle illustrazioni, gli studenti acquisissero una certa familiarità con gli orbitali, peccato che gli orbitali di questo testo famoso non avessero più nulla a che fare con le autofunzioni idrogenoidi da cui era partito Pauling nel 1931.

Il dilagare delle rappresentazioni errate di orbitali non ha preoccupato soltanto i didatti della scuola secondaria. Più di quaranta anni fa gli Autori di un testo di alto livello, strettamente professionale, si avvicinavano con grande cautela ai diagrammi polari degli orbitali p , avvertendo subito che “sono state adottate varie convenzioni per la rappresentazione del carattere direzionale degli elettroni p ”.³⁷ In riferimento alle immagini da noi riprese in Figura 7 Phillips e Williams sottolineano che lo schema delle superfici limite per la densità elettronica degli elettroni $2p$ è dato da due sfere distorte e separate; lo stesso schema è stato utilizzato in generale per tutti gli elettroni p , indipendentemente dal numero quantico principale, mentre la presenza di ulteriori piani nodali per le funzioni d’onda porta a rappresentazioni assai diverse.

Phillips e Williams convengono sul fatto che nella discussione dei legami interatomici è utile “porre l’accento sulle proprietà direzionali (angolari) degli orbitali”. La loro scelta cade sulla “convenzione molto comune di rappresentare la funzione p con un diagramma polare come in [Figura 8] (a), in cui la polare come in [Figura 8] (a), in cui la distanza dall’origine è proporzionale al valore assoluto della parte angolare della funzione d’onda”. Qui, però, fanno un’osservazione molto importante: “Si deve notare che, mentre questo [diagramma] dà un’immagine (*picture*) molto approssimata della distribuzione di densità elettronica, esso non è una superficie limite, e nemmeno lo è il corri-

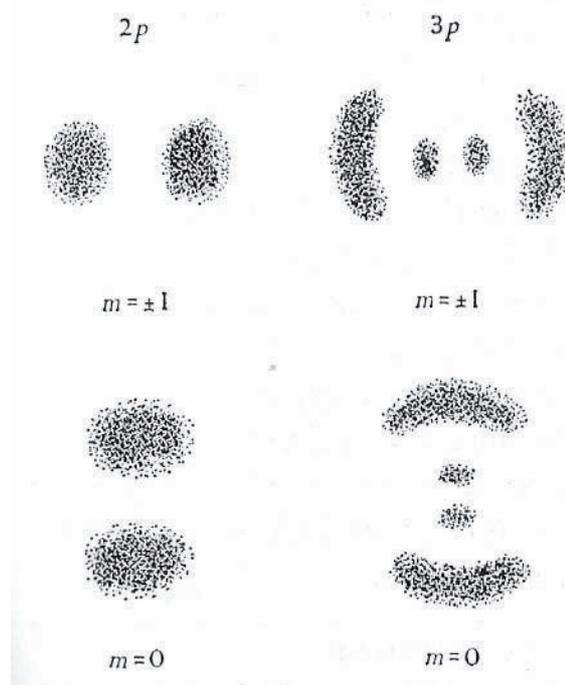


Figura 7

Sezioni delle densità di probabilità degli elettroni per gli orbitali $2p$ e $3p$ dell’atomo di idrogeno. L’asse z è verticale. Le rappresentazioni per i diversi orbitali non sono in scala.³⁸

Phillips e Williams convengono sul fatto che nella discussione dei legami interatomici è utile “porre l’accento sulle proprietà direzionali (angolari) degli orbitali”. La loro scelta cade sulla “convenzione molto comune di rappresentare la funzione p con un diagramma polare come in [Figura 8] (a), in cui la polare come in [Figura 8] (a), in cui la distanza dall’origine è proporzionale al valore assoluto della parte angolare della funzione d’onda”. Qui, però, fanno un’osservazione molto importante: “Si deve notare che, mentre questo [diagramma] dà un’immagine (*picture*) molto approssimata della distribuzione di densità elettronica, esso non è una superficie limite, e nemmeno lo è il corri-

31. M. Ripa, *Fondamenti di chimica*, Ferrara, Boloventa, 1992, p. 11; tutti i corsivi sono nel testo originale.

32. *Ib.*, p. 13.

33. *Ib.*, p. 14, didascalia della fig. 12.

34. *Ib.* p. 67.

35. *Ib.*, p. 68, didascalia della fig. 18.

36. *Ib.*, p. 68.

37. C.S.G. Phillips, R.J.P. Williams, *Inorganic Chemistry*, vol. I, Oxford, Clarendon Press, 1965, p. 15.

38. Nella nostra figura è riportata una parte della fig. 1.14, p. 21 del Rif. 37.

Leggere le figure

spendente diagramma polare per il quadrato della funzione d'onda angolare, [Figura 8] (b)".³⁹ L'errore di considerare i diagrammi polari delle funzioni d'onda come superfici limite non deve essere un'anomalia dei testi italiani se Phillips e Williams aggiungono: "Questo non è sempre chiarito quando si usano simili diagrammi".⁴⁰ Come vediamo dalla Figura 8, la forma allungata della parte angolare degli orbitali $2p$ è data dai valori di Ψ^2 , mentre la forma sferica è data dai valori (assoluti) di Ψ .

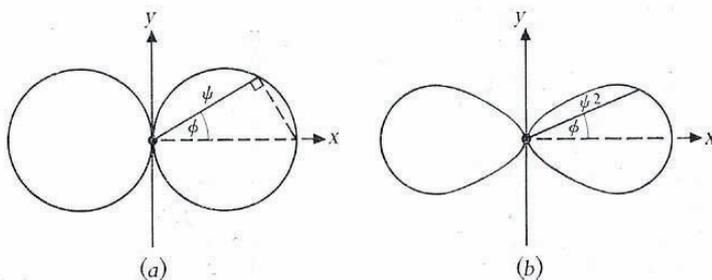


Figura 8

Diagrammi polari per le funzioni d'onda p . Ψ rappresenta il valore assoluto della parte angolare della funzione d'onda.⁴¹

Sta agli insegnanti (universitari) riportare gli orbitali alla loro giovanile innocenza matematica. Certe presentazioni degli orbitali sono 'realistiche' al punto di mimare nel testo una manipolazione con la plastilina: *ogni orbitale p ha la forma di due gocce d'acqua unite per la parte più piccola, i due orbitali si fondono per dare due orbitali ibridi che si dispongono sullo stesso asse, ma capovolti*. Si tratta ovviamente di un realismo fasullo, somministrato a forti dosi per supplire ad una impraticabile presentazione fisico-matematica rigorosa. Certe altre rappresentazioni fanno subire al lettore avveduto il "terrore dei segni incerti" di cui parlava Barthes; in assenza di un atteggiamento critico il segno 'incerto' subisce una sorte del tutto imprevedibile, legata all'arbitrarietà di una interpretazione puramente soggettiva.

Conclusioni

Nell'introduzione abbiamo parlato di un utile repertorio di esempi. È evidente che si è inteso parlare di una *utilità cumulativa*, nel senso che l'atteggiamento critico nei confronti della comunicazione iconografica andrà perfezionandosi solo con la pratica. Il 'perfezionamento' è d'obbligo anche per chi fa ricerca nel campo, data la inventiva dei grafici e lo sviluppo dei media. Nella presente comunicazione abbiamo proposto tre esempi in tutto, con intenzioni molto diverse. Il caso degli spaghetti di Barthes ci ha permesso di riprendere e utilizzare qualche elemento dell'analisi semiotica del filosofo francese; nello stesso tempo però ci è servito - e ci serve - per sottolineare che il luogo più interessante per la sociosemiotica è tuttora la pubblicità. Le meraviglie della comunicazione pubblicitaria nascono dalla servitù ad interessi colossali di menti creative e di grafici eccellenti; il fatto che il messaggio inzeppato di *nonsense* o addirittura di falsità dovrebbe acuire il nostro interesse di educatori per un'analisi sociosemiotica del messaggio *per se*. È quanto abbiamo fatto per la pubblicità della Microsoft, insistendo sulla 'virtualità' della scena - in un senso peggiorativo del termine 'virtuale'. Più estesa è stata la nostra argomentazione sugli orbitali, una scelta giustificata da un paio di motivi: la volontà rintracciare le origini storiche di immagini così diffuse nei nostri testi e l'intenzione di ricordare la critica sociosemiotica a quella epistemologica. Il confronto fra gli ultimi due casi porta ad una conclusione vagamente paradossale: l'insegnante *virtuale* sarebbe preferibile all'insegnante *reale*, ma nell'insegnamento gli orbitali alla plastilina (il *concreto*) funzionerebbero meglio delle funzioni matematiche (l'*astratto*).

Il campo di ricerca di cui qui abbiamo iniziato a tratteggiare i confini è veramente amplissimo, e non permette ambizioni 'esaustive'. Nei nostri prossimi contributi proporremo l'analisi sociosemiotica delle immagini dei laboratori chimici e della strumentazione. Problemi diversi, ma non meno interessanti pongono tutti i mezzi di comunicazione non (solo) verbali che affollano i nostri libri di testo: diagrammi, schemi e grafici; sono questi gli strumenti più tradizionali di quella che ormai è diventata una disciplina autonoma: la visualizzazione scientifica. Se si consulta l'oracolo Google si scopre che i problemi posti dalla visualizzazione di un 'buco nero'⁴² sono stati risolti in circa 300.000 modi diversi. Alla critica sociosemiotica della visualizzazione scientifica non mancano gli 'oggetti' da studiare.

39. Rif. 37, p. 16.

40. Rif. 37, p. 15.

41. Ib. pp. 15-16.

42. In un sito ufficiale del CNR leggiamo: "A sinistra viene mostrata una recentissima immagine *reale* a raggi X del centro della nostra galassia, ottenuta col satellite americano Chandra. Il puntino bianco più luminoso al centro dell'immagine corrisponderebbe al buco nero gigante al centro della nostra galassia"; il corsivo è una nostra enfasi.

URL:<http://www.ira.cnr.it/settimana2000/mostra/bholes.pdf>

INSEGNAMENTO SCIENTIFICO E AUTONOMIA COGNITIVA DEGLI ALLIEVI NELL'APPRENDIMENTO: un'esperienza

ALDO BORSESE^a, MARCELLA MASCARINO^b, PATRIZIA MITTICA^c, IRENE PARRACHINO^b

a) Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale - Università di Genova (educ@chimica.unige.it)

b) Marcella Mascarino, Liceo Classico "G.Mazzini", Genova

c) Patrizia Mittica, Scuola Media "Lavagna-Cogorno", Lavagna (Genova)

d) Irene Parrachino, Scuola Media "Don Milani", Genova

Introduzione

Crediamo che nella scuola dell'obbligo sia prioritario far acquisire agli allievi abilità scientifiche di base perché è proprio la mancanza di queste che allontana i giovani dagli studi in questo ambito e impedisce alle persone di avvicinarsi in maniera cognitivamente adeguata alla scienza. Nella scelta dei contenuti, pertanto, teniamo conto della loro funzionalità al raggiungimento di queste abilità. Tra queste ricordiamo, ad esempio, saper descrivere un fenomeno, saper formulare ipotesi, saper predisporre un esperimento, eseguirlo ed utilizzare i dati ottenuti, acquisire capacità logico-deduttive, di analisi, di generalizzazione...

Un'altra caratteristica dei contenuti prescelti dovrebbe essere quella della loro adeguatezza rispetto alla "enciclopedia cognitiva" degli allievi cui sono rivolti, cioè quando sono tali da poter interagire in maniera attiva con ciò che essi già conoscono.

Sulla base di questa premessa, il percorso didattico, che si presenta, e che è stato sperimentato in una classe seconda di scuola secondaria di primo grado, è centrato sullo studio del fenomeno della dissoluzione e viene introdotto dalla classificazione di sostanze solide di diversa solubilità e si conclude con la presa d'atto della conservazione della massa del soluto in soluzione.

La **classificazione** è un tema ricorrente nelle scienze sperimentali ma spesso affrontato senza cogliere appieno l'importanza culturale che può rivestire per gli allievi. Per esempio, se, dopo aver individuato le caratteristiche di un gruppo di oggetti, si invitano gli allievi a formulare criteri di similitudine tra loro sulla base di una o più caratteristiche e, successivamente, si chiede ai ragazzi di utilizzare tali criteri per operare diversi possibili raggruppamenti, si innesca un coinvolgimento attivo e partecipato funzionale ad una acquisizione del concetto di classificazione, non solo come conoscenza ma anche come competenza.

Il fenomeno della **dissoluzione** di alcune sostanze solide in acqua è stato scelto in quanto si tratta di un fenomeno quotidiano facilmente osservabile, e perché consente l'acquisizione di alcuni concetti importanti quali, ad esempio quelli di sostanza solubile, soluto, solvente, soluzione concentrazione, solubilità.

Anche questo contenuto viene, in genere, trattato in maniera superficiale senza sfruttarne le potenzialità formative. Per esempio, l'apparente scomparsa di una sostanza bianca mescolata in acqua, che induce l'idea che essa non ci sia davvero più, può essere utilizzata opportunamente per attivare un atteggiamento di ricerca negli alunni, e la verifica mediante pesata permette ai ragazzi di cominciare a prendere atto della **conservazione della massa**. Si avviano gli allievi, cioè, all'acquisizione o al consolidamento di un contenuto fondamentale che non viene, in genere, affrontato nella scuola di base e che non fa certo parte del senso comune. La verifica sperimentale della conservazione delle masse nella dissoluzione rappresenta pertanto, a nostro avviso, un passo importante nel processo di acquisizione di strutture e concetti fondamentali delle scienze.

L'intero percorso si fonda sulla **didattica laboratoriale**, una metodologia di lavoro che non valorizza solo l'approccio sperimentale alla risoluzione di problemi scientifici attraverso la progettazione di un esperimento, la sua realizzazione, la raccolta e l'analisi dei risultati, ma anche le abilità logico-linguistiche, la capacità di valutare ciò che si conosce e di rapportarsi con gli altri attraverso la sollecitazione sistematica a esprimere il proprio punto di vista e a confrontarlo con i compagni in ogni fase del percorso e a sottoporre a verifica le proprie affermazioni.

Lo studio del processo di dissoluzione viene, inoltre, finalizzato all'acquisizione da parte degli allievi del concetto di **variabile**, attraverso la formulazione e la successiva verifica di ipotesi su come il sistema risponda alla variazione di alcuni parametri.

Insegnamento scientifico e autonomia cognitiva degli allievi nell'apprendimento

Finalità ed obiettivi

I contenuti e la metodologia proposti hanno permesso agli alunni di acquisire e/o rinforzare sia abilità, che possiamo definire “sociali”, riguardanti, cioè, l’atteggiamento dei ragazzi verso il gruppo classe e le attività che si svolgono in tale ambito, sia abilità e conoscenze più strettamente disciplinari.

Tra le prime possiamo schematicamente citare:

- partecipazione attiva al processo di apprendimento
- capacità di lavorare in gruppo
- capacità di valutare e accettare opinioni divergenti

Per quanto concerne gli obiettivi disciplinari:

- arricchimento del linguaggio naturale con termini di lessico specifico
- individuazione di differenze ed uguaglianze attraverso il confronto
- identificazione di possibili criteri per effettuare una classificazione
- abilità di classificare sulla base di criteri proposti dall’insegnante e/o dai compagni
- formulazione operativa di alcune definizioni
- acquisizione operativa del concetto di conservazione della massa nella dissoluzione
- acquisizione operativa del concetto di variabile
- capacità di descrivere sostanze
- capacità di descrivere in sequenza ordinata un fenomeno
- capacità di predisporre le fasi di un esperimento
- capacità di eseguire la procedura di un esperimento
- capacità di raccogliere, gestire ed interpretare dati
- capacità di costruire e leggere tabelle e diagrammi cartesiani
- capacità di distinguere i fatti dalle ipotesi (le descrizioni dalle spiegazioni)
- capacità di formulare ipotesi e predisporre esperienze per verificarle
- capacità logico-deduttive nello studio di un fenomeno
- capacità di analisi
- capacità di sintesi e generalizzazione

Descrizione del percorso

Il percorso didattico è stato articolato in diverse fasi, per una durata complessiva di circa 20 ore:

1) Osservazione di sostanze diverse e loro classificazione in base a caratteristiche osservabili.

Sono stati presentati ai ragazzi 10 barattolini contenenti sostanze diverse per colore e granulometria ed è stato chiesto loro di individuare uguaglianze e differenze fra le varie sostanze e di raggrupparle, elencando le caratteristiche in base alle quali hanno suddiviso l’insieme delle sostanze.



2) Formulazione di ipotesi operative per realizzare una classificazione di sostanze secondo caratteristiche non direttamente osservabili.

Sono stati mostrati ai ragazzi due barattolini di vetro identici, contenenti un uguale volume di polveri bianche di granulometria assolutamente simile. Si è sottolineato come sostanze diverse possano apparire pressoché indistinguibili alla sola osservazione, e si è chiesto loro di pensare a qualche prova che potesse consentire di distinguere i campioni.

Fra le diverse proposte, è emersa quella di verificare quale sia il comportamento delle due sostanze se mescolate all'acqua¹.

3) Individuazione delle condizioni sperimentali per verificare se una sostanza si scioglie in acqua e realizzazione di alcune prove di dissoluzione.

E' stato chiesto individualmente agli alunni di elencare le operazioni da svolgere in sequenza per realizzare una prova di verifica della solubilità di una sostanza solida in acqua.

Successivamente gli allievi, suddivisi in piccoli gruppi, hanno realizzato la stesura di una procedura condivisa, precisa e dettagliata, che permettesse di realizzare l'esperimento di dissoluzione in modo ordinato e confrontabile. Ogni gruppo ha poi eseguito la prova sulle stesse quattro sostanze: due bianche (cloruro d'ammonio e solfato di piombo, rispettivamente solubile ed "insolubile"²) e due colorate (solfato ferroso e biossido di piombo, solubile ed "insolubile").

4) Descrizione del fenomeno di dissoluzione e formulazione di ipotesi per verificare la permanenza del soluto nell'acqua.

Al termine dell'esperimento di dissoluzione, è stato chiesto ai ragazzi di descrivere il comportamento delle diverse sostanze nell'acqua (si scioglie, si deposita sul fondo, colora il liquido...). Di seguito, è stato domandato loro di spiegare il significato della frase "La sostanza si scioglie". Metà della classe ha risposto che se la sostanza è bianca "scompare", diversi ragazzi che se è colorata "il liquido diventa del colore della sostanza", alcuni che "non si vedono più i granelli".

Considerato che per molti la sostanza, quando viene sciolta in acqua, "scompare", è stata necessaria una riflessione sul significato della parola "scompare": non si vede più oppure, effettivamente, non c'è più?

Buona parte degli alunni riteneva che una sostanza solida bianca che si scioglie in acqua rimane tutta presente nel liquido, anche se non si vede, ma c'era anche chi pensava che una volta sciolta "non c'è più" o "rimane solo in parte". Il comportamento delle sostanze colorate confondeva ancora di più gli studenti: diversi hanno scritto che la sostanza solubile rimane solo in parte; una persona ha scritto che, nonostante il colore, la sostanza non c'è più. Alcune persone mostravano gli stessi dubbi anche sulle sostanze insolubili in acqua.

E' stato quindi richiesto agli alunni di pensare ad una prova che potesse consentire di verificare le loro ipotesi. Successivamente, sono state prese in considerazione in classe tutte le proposte avanzate (guardare con una lente; chiudere il recipiente con un tappo ed esaminarlo per vedere se la sostanza evapora; travasare per vedere se si vede la sostanza; far evaporare il liquido; filtrare; pesare). Dopo aver discusso le proposte, sono state realizzate le prove ritenute più valide.

Una prova di riscaldamento prolungato di una soluzione acquosa di sale da cucina, determinando l'evaporazione dell'acqua e la deposizione del sale nel recipiente che conteneva la soluzione di partenza, ha dimostrato qualitativamente che la sostanza disciolta, anche se non più visibile, era presente nel liquido.

Dopo aver sottolineato che per comprendere il fenomeno della dissoluzione è necessario chiarire se, in caso di mescolamento con l'acqua, tutta la sostanza o solo una parte di essa rimanga nel liquido (come diversi ragazzi avevano affermato), è stato chiesto agli alunni di pensare ad un metodo sperimentale che consentisse di verificare in modo quantitativo la permanenza nell'acqua delle sostanze.

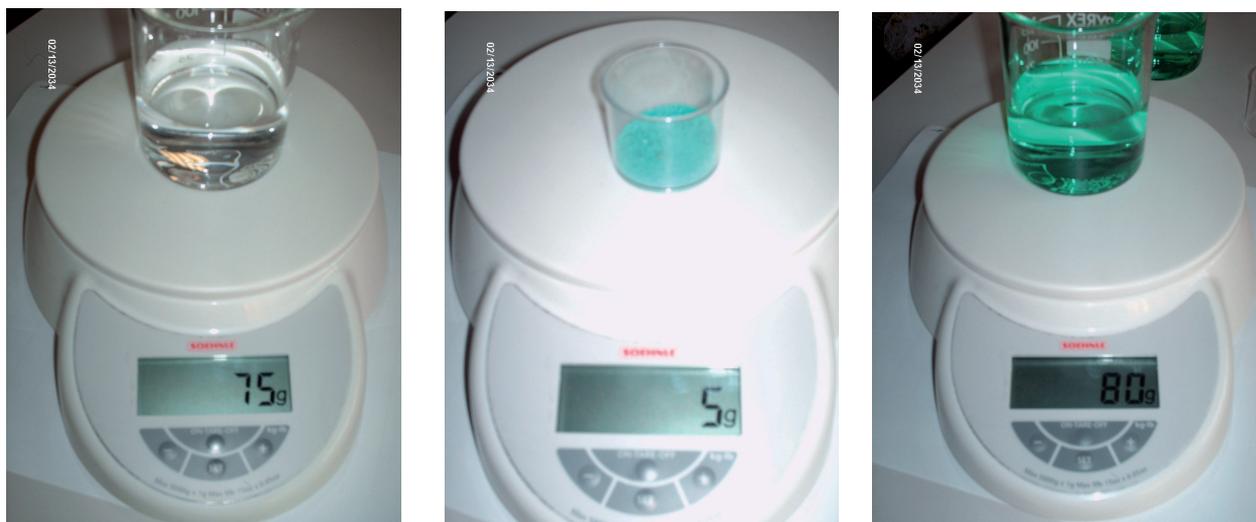
5) Verifica delle ipotesi mediante pesata.

La verifica quantitativa della permanenza nell'acqua delle diverse sostanze è stata effettuata, seguendo il suggerimento fornito da un alunno e condiviso con l'intero gruppo classe, mediante pesata dell'acqua e della sostanza prima del mescolamento e successiva pesata del liquido ottenuto.

1. Abbiamo utilizzato questo spunto venuto dagli allievi perché ci ha consentito di introdurre il fenomeno della dissoluzione. In particolare, a proposito del comportamento in acqua come criterio per differenziare le sostanze, si è potuto concludere che si può affermare che due sostanze sono diverse se il loro comportamento in acqua è differente (ad esempio se una delle due si scioglie e l'altra no). Per evitare poi che gli allievi potessero dedurre da questa conclusione che se due sostanze hanno lo stesso comportamento in acqua si tratta della stessa sostanza, si è chiesto loro se ritenevano che la prova di dissoluzione potesse essere un metodo utilizzabile per distinguere due sostanze come il sale da cucina e lo zucchero.

2. Per convenzione, due specie chimiche si considerano insolubili una nell'altra quando una di essa si scioglie nell'altra per meno di 10⁻³ moli di entità per litro.

Nella figura sono rappresentati i passaggi fondamentali della procedura sperimentale progettata ed eseguita in classe.



Il passaggio al quantitativo compiuto con questa esperienza ha reso necessaria una parentesi di approfondimento sull'**errore di misura** e sulla **sensibilità** della strumentazione utilizzata.

La riflessione in classe sui risultati degli esperimenti ha consentito ai ragazzi di constatare che la sostanza, anche se "sparita" in seguito al mescolamento, è effettivamente rimasta dentro l'acqua, poiché pesando separatamente sostanza solida e acqua e poi il liquido ottenuto dal loro mescolamento si è constatato che i valori corrispondevano.

6) Formulazione di alcune definizioni (sostanza solubile, soluto, solvente, soluzione) e della legge di conservazione della massa³.

Al termine di questo lavoro, gli alunni, sulla base dell'osservazione effettuata nelle fasi precedenti, hanno formulato la definizione di *sostanza solubile*: *si definisce solubile una sostanza che, quando viene mescolata con l'acqua, scompare alla vista lasciando il liquido limpido e trasparente, incolore o colorato a seconda se essa è bianca o colorata.*

Il *soluto* è stato definito come *la sostanza che si scioglie in acqua e non si vede più*; il *solvente* nel nostro caso era l'acqua, ma in generale è stato definito come *il liquido nel quale introduco la sostanza da sciogliere (soluto)*; la *soluzione* è *il liquido che si ottiene dopo aver sciolto una sostanza (soluto) in acqua.*

Per quel che riguarda la conservazione della massa nel processo di dissoluzione, gli alunni hanno formulato il seguente enunciato: *"Attraverso il metodo della pesata abbiamo verificato che, sia nei casi in cui le sostanze si sciolgono in acqua, sia nei casi in cui le sostanze non si sciolgono in acqua, l'insieme di acqua e sostanza pesa come/pesa uguale alla somma delle singole porzioni/sostanze che compongono l'insieme."*

Per contestualizzare il concetto di soluzione, sono state portate in classe bottigliette di tè e di acqua minerale sia gasata che naturale, ed è stato chiesto agli allievi di identificare, utilizzando le informazioni contenute nelle etichette delle bottiglie, quali secondo loro fossero soluzioni. Tale lettura ha convinto tutti che anche l'acqua della bottiglietta, contenendo numerose sostanze disciolte, è una soluzione. Come ulteriore esempio di soluzione, si è fatto riferimento all'acqua del mare; sottolineando che, pur chiamandosi acqua, come quella presente nelle bottiglie contiene numerosi sali tra cui quello che utilizziamo in cucina; a questo proposito si è parlato dei metodi utilizzabili per estrarlo, discutendo delle saline e del processo che in esse avviene (l'evaporazione dell'acqua e la deposizione del sale) e richiamando le esperienze delle lezioni precedenti.

Il tema delle soluzioni è stato esteso anche alle soluzioni di due liquidi, come acqua e alcool, e si è rilevato come esistano liquidi tra loro insolubili, portando come esempio il caso di acqua e olio.

7) Solubilità e concentrazione

Successivamente si è chiesto ai ragazzi se, secondo loro, continuando ad aggiungere sale ad una soluzione ottenuta sciogliendo una certa quantità di sale in acqua, il sale avrebbe continuato a sciogliersi indefinitamente oppure no.

3. Con i ragazzi non è stata mai utilizzata l'espressione "conservazione della massa" per non dover aprire il discorso sulla differenza tra massa e peso, che avrebbe assorbito quasi tutto il tempo a disposizione.

T (°C)	grammi di sostanza disciolta in 100 g di acqua
0	30
25	77
50	104

Anche in questo caso, attraverso un opportuno tratto di percorso, si è giunti alla messa a punto e alla realizzazione di un'esperienza che ha consentito di riconoscere l'esistenza di un limite nella possibilità di dissoluzione di un sale solubile nell'acqua. Ci si è allora chiesti se esso fosse uguale per tutte le sostanze oppure no e per passare ad una misura quantitativa di tale limite (in seguito definito limite di *solubilità* o *solubilità*), si è costruito il concetto di concentrazione di una soluzione, misurata come *rapporto tra i grammi di soluto e quelli di solvente utilizzati*.

8) Individuazione di alcuni parametri che influenzano la solubilità: progettazione, esecuzione ed interpretazione di esperimenti per studiare l'effetto della T sulla solubilità di diverse sostanze.

Avendo constatato in più occasioni che i ragazzi erano in grado di ipotizzare alcune variabili che influenzano il processo di dissoluzione di un solido in un liquido (qualità e quantità della sostanza, temperatura) sono state progettate ed eseguite prove sperimentali al fine di determinare la solubilità di quattro sostanze diverse (cloruro d'ammonio, solfato di nichel, solfato di rame, bicromato di potassio) a diverse temperature (0°C, 25°C e 50°C).

Le esperienze svolte hanno fornito l'occasione per una riflessione sull'importanza dell'organizzazione dei dati prodotti nelle attività di sperimentazione e della loro rappresentazione, al fine di ottenere informazioni sul fenomeno analizzato. In particolare, è stato chiesto di:

- operare sui dati ottenuti da diversi "ricercatori" rendendoli confrontabili tra loro,
- organizzare i dati in **tabelle** che ne consentissero una rappresentazione sintetica e un rapido confronto,
- riportare i dati su un **diagramma cartesiano**.

Aspetti metodologici

a) Didattica laboratoriale

Come si è già accennato nell'introduzione, la metodologia utilizzata nella proposta didattica in esame prevede che gli studenti debbano progettare e sviluppare gradualmente il procedimento che li porterà alla soluzione dei problemi che vengono loro proposti, e, alla fine, esaminare e verificare la soluzione. Durante questo procedimento essi hanno bisogno di elaborare e discutere ipotesi (progettando ed eseguendo esperimenti), reperire informazioni (consultando libri, esaminando oggetti) e presentare i risultati. In altri termini, i ragazzi costruendo il proprio sapere, acquisiscono contemporaneamente capacità trasversali di progettazione, di verifica dei risultati, riflessione sul lavoro, come anche capacità generali di collaborazione e comunicazione.

Riteniamo fondamentali la capacità di osservare e quella di predisporre e realizzare (semplici) esperimenti: anche in questo caso, però, l'insegnante deve porre estrema attenzione al tipo di esperienze da far svolgere in classe. Di per sé, il fatto di presentare alcuni aspetti pratici relativi ai contenuti trattati non costituisce necessariamente un valore aggiunto: gli stessi libri di testo tendono talvolta a paracadutare sulla testa dei ragazzi gli esperimenti con troppo dogmatismo e superficialità.

Gli esperimenti (così come i contenuti teorici) dovranno essere scelti in modo tale da essere significativi per gli alunni. Adottare, inoltre, una metodologia di lavoro in cui i ragazzi vengano chiamati a progettare gli esperimenti da svolgere, favorirà un contatto con la realtà con un valore cognitivo più profondo e meno simile ad un semplice "gioco".

Partire da aspetti concreti ed operativi non implica in modo automatico il coinvolgimento dei ragazzi, ma senza dubbio lo facilita.

b) Organizzazione del lavoro

L'attuazione del progetto è avvenuta attraverso schede scritte.

La riflessione intorno alle situazioni proposte è stata organizzata generalmente attraverso le seguenti fasi:

- un lavoro individuale scritto (prima scheda individuale), stimolato da una domanda scritta;
- un lavoro in piccoli gruppi, di massimo quattro persone, guidato da una scheda di gruppo, che prevede una discussione dei lavori individuali e l'elaborazione, sempre scritta, di una risposta "di gruppo" condivisa. Ai gruppi viene anche affidato lo svolgimento di semplici procedure sperimentali;
- una discussione orale conclusiva in cui tutti i gruppi, tramite alcuni rappresentanti, espongono il loro elaborato mentre gli altri componenti di ogni gruppo partecipano alla discussione.

Trasversalità

a) Collegamenti interdisciplinari

Facendo riferimento in modo particolare alle soluzioni acquose, il tema è correlabile a molte parti dei curricula disciplinari, ad esempio:

Insegnamento scientifico e autonomia cognitiva degli allievi nell'apprendimento

- area storico-geografica: l'estrazione del sale dall'acqua di mare nella storia, le "vie del sale", le caratteristiche dei diversi mari della Terra in relazione ai diversi gradi di salinità delle acque, ...
 - area scientifica: educazione ambientale ed educazione alla salute, processi biologici che implicano reazioni in soluzione, ...
 - area matematica: tabelle e diagrammi cartesiani, rapporti e proporzioni, ...

b) Aspetti linguistici

Nell'interazione didattica l'insegnante non dovrebbe mai sottovalutare le problematiche relative alla comprensibilità del linguaggio che utilizza. Poiché crediamo che il linguaggio utilizzato dagli insegnanti a scuola debba essere quello comune, se è necessario l'uso di termini specifici, come succede in ambito scientifico, occorre che tali termini siano inseriti in frasi costituite da parole del linguaggio comune. Queste frasi, infatti, vengono comprese dagli allievi perché sono costituite da parole che conoscono, e tale comprensione li conduce a cogliere il significato dei termini introdotti.

Non si tratta di un'operazione facile, è necessario uno specifico lavoro in aula; se l'insegnante sottovaluta questo compito didattico e ricade nel mero tecnicismo può, infatti, accadere che la scarsa comprensibilità di ciò che propone generi nell'alunno l'abitudine a ripetere senza comprendere.

Occorre, invece, lo ribadiamo, che l'insegnante parta dal lessico dei propri alunni arricchendolo gradualmente con i termini specifici che vanno acquisendo significato concettuale per i propri allievi, con l'obiettivo di giungere alla costruzione di significati condivisi nella classe; l'importanza di questo modo di operare è grande perché, se condotto opportunamente, fa nascere negli allievi l'esigenza di comprendere il significato delle parole che vengono usate e stimola un atteggiamento generale di tipo comprensivo.

Ecco allora che la **definizione**, a scuola, può uscire dal ruolo astratto che spesso le viene attribuito, per assumere il significato di sintesi concettuale. Naturalmente, è necessario che l'uso dei termini-concetto si realizzi solo quando lo studente abbia acquisito gli strumenti cognitivi che gli permettono di comprenderlo e di applicarlo e che la definizione sia la conclusione del lavoro di costruzione del significato e sia strutturale rispetto al significato costruito con il percorso didattico. Se si introducono definizioni che non corrispondono al lavoro che gli allievi hanno svolto e che non interagiscono con la struttura cognitiva di chi deve apprendere, queste non potranno che essere memorizzate.

E' ciò che spesso succede a scuola: le definizioni per gli studenti rispondono solo ad un'esigenza di caratterizzazione formale e vengono studiate come vuole l'insegnante; invece di favorire la concettualizzazione, la ostacolano, assecondando un apprendimento esclusivamente mnemonico.

Il ruolo della definizione dovrebbe essere quello di fissare significati per permettere di dividerli; avendo chiaro, come insegnanti, che il suo carattere convenzionale la rende tanto più significativa quanto più chi la formula ne conosce i limiti di validità.

Avviare gli alunni alla capacità di produrre **definizioni operative** come formulazioni conclusive, negoziate e condivise, di un concetto, favorisce la capacità di comprensione e di espressione linguistica, in un processo di costruzione progressiva e consapevole della conoscenza. E' ciò che si è effettuato nell'esperienza presentata in questo contributo: mirare il lavoro verso definizioni ancorate ai fatti osservati e costruite attraverso il percorso didattico realizzato in classe.

Verticalità

Fermo restando un percorso laboratoriale basato su esperimenti accessibili, il tema è talmente ampio da poter essere proposto a livelli di approfondimento differenziato nei diversi ordini di scuola.

Nella scuola primaria e nella secondaria di primo grado, riteniamo opportuno limitarci alla descrizione del fenomeno (come avviene), ferdandoci ad una sua interpretazione macroscopica. Nella scuola secondaria di secondo grado, invece, sarà possibile proporre un modello particellare della materia per passare alla sua spiegazione (perché avviene).

⇒ **Nella Scuola Primaria**

si dovrebbe dedicare un maggiore spazio temporale allo svolgimento delle attività di **classificazione** introdotte nella prima fase del progetto, utilizzando, però, un gruppo di oggetti di uso comune, che non rappresentino, cioè, di per se stessi un ostacolo cognitivo. Tale attività consente l'acquisizione/consolidamento di abilità quali la capacità di cogliere uguaglianze e differenze, la capacità di osservare non casualmente, la capacità di effettuare generalizzazioni (è necessario un passaggio verso l'astrazione per arrivare dalle differenze/uguaglianze, di volta in volta individuate, alla caratteristica in esame dell'oggetto (ad esempio per due oggetti, uno dei quali è di plastica e l'altro è di vetro, la caratteristica in esame è "materiale"). Dal punto di vista linguistico un lavoro del genere permette ai bambini di impadronirsi del significato delle parole "simile/analogo", "uguale", "diverso".

In un secondo tempo sarà possibile lavorare con i bambini sul significato delle parole “liquido”, “colorato”, “incolore”, “trasparente”, “limpido”, “opaco”, requisito imprescindibile per arrivare alle **definizioni operative** di *sostanza solida solubile* in acqua e di *soluzione*.

Una maggiore attenzione richiederanno anche la predisposizione e successiva esecuzione di **sequenze** operative, attività che consentiranno alle insegnanti della scuola primaria di potenziare la capacità di organizzazione spaziotemporale dei loro piccoli alunni.

Per quanto riguarda il concetto di *concentrazione*, esso potrebbe essere sviluppato in modo qualitativo nei primi anni della scuola primaria, facendo uso di sostanze colorate che permettono di evidenziare la differenza di concentrazione attraverso la diversa intensità di colorazione. Nel secondo ciclo della scuola primaria sarebbe possibile avviare alla costruzione del concetto di *conservazione della massa* nel processo di dissoluzione con esperienze analoghe a quelle descritte nel lavoro precedente, sia attraverso l'uso della bilancia che attraverso esperimenti di evaporazione del solvente.

Anche la metodologia di lavoro su schede, ovviamente, richiederebbe un impegno assiduo per avviare i bambini, una volta acquisito il mezzo espressivo della scrittura, ad un suo uso consapevole.

⇒ Nella Scuola Secondaria di secondo grado

il percorso laboratoriale potrebbe essere completato attraverso esperienze di separazione dei componenti di una soluzione realizzate con altri metodi (distillazione, cromatografia, estrazione con solventi) al fine di coniugare le abilità manuali con conoscenze teoriche, lessicali e cognitive più approfondite.

Nella scuola secondaria di secondo grado l'“enciclopedia cognitiva” dei ragazzi sarà, presumibilmente, adeguata per una comprensione significativa del modello particellare della materia.

Sarà, quindi possibile accedere alla spiegazione microscopica della dissoluzione di un solido ionico in acqua. Questa, a sua volta, permetterà altri possibili sviluppi del percorso che potrebbero riguardare, ad esempio, esperimenti di *conduzione* in soluzioni elettrolitiche (perché né l'acqua “pura”, né il sale allo stato solido conducono elettricità, al contrario della soluzione?).

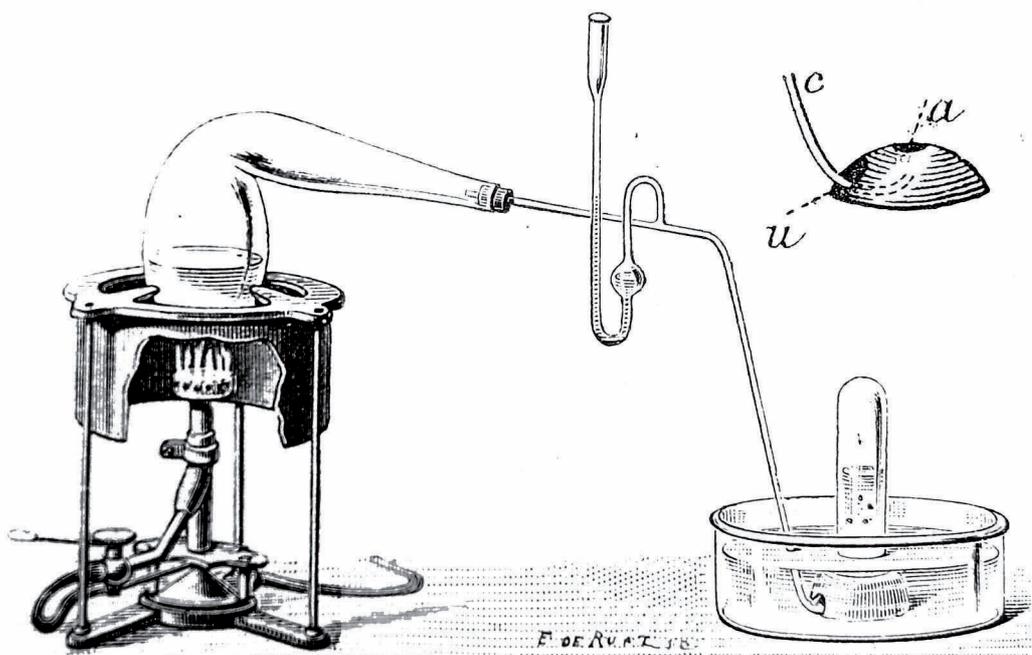
Ancora, si potrebbe verificare come la dissoluzione di alcune sostanze possa variare l'acidità di dell'acqua, lavorando quindi sui concetti di *acidità*, *basicità* e *pH*.

Bibliografia

- Anolli, L. (2002), *Psicologia della comunicazione*, il Mulino, Bologna.
- Bloomfield L. (1933), *Language*, Holt. New York, traduzione italiana (1974) *Il linguaggio*, Il Saggiatore, Milano.
- Boscolo, D.P. (1986), *Psicologia dell'apprendimento scolastico*, Utet, Torino.
- Bostrom, R.N. (1990), *La persuasione*, Nuova ERI/Edizioni RAI, Torino.
- Bramki, D. e Willimas, R. (1984), *Lexical familiarization in economics text books, Reading in a Foreign Language* 2/1, pp.169-181.
- Cavallini, G. (1989), *Insegnamento scientifico e processi cognitivi, Scuola e Città*, p. 321.
- Chomsky, N. (1989), *La conoscenza del linguaggio*, Il Saggiatore, Milano.
- Cimatti, F. (1999), *Fondamenti naturali della comunicazione* in *Manuale della comunicazione* a cura di Gensini, S., Carocci, Roma.
- Corno, D. (1991), *Il ragionar testuale: il testo come risultato del processo di comprensione*, in *La centralità del testo nelle pratiche didattiche*, a cura di Desideri, P., La Nuova Italia, pp. 45-67.
- Dagognet, F. (1987), *Tavole e linguaggi della chimica*, Theoria, Roma.
- Darien, S. (1981), *The role of definitions in scientific and technical writing: forms, functions and properties, English Language Research Journal*, 2, pp.41-56.
- Dewey, J. (1989), *Cómo pensamos: nueva exposición entre pensamiento y proceso educativo*, Paidós, Barcelona.
- Driver, R. (1988), *L'allievo come scienziato? La formazione dei concetti scientifici nei preadolescenti*, Zanichelli, Bologna.
- Ennis, R.H. (1974), *Definition in Science Teaching, Instructional Science*, 3, pp.285-298.
- Fiorani, E. (1998), *Grammatica della comunicazione*, Lupetti, Milano.
- Flowerdew, J. (1992), *Definitions in science lectures, Applied Linguistics*, vol. 13, n.2, pp.202-221.
- Foucault, M. (1972), *L'ordine del discorso*, Einaudi, Torino.
- Gensini, S. (1999), *Manuale della comunicazione*, Carocci, Roma.
- Grice, H.P. (1978), *Logica e conversazione* in *Gli atti linguistici* a cura di Sbisà, M., Feltrinelli, Milano.
- Hjelmslev, L.T. (1968), *I fondamenti della teoria del linguaggio*, Torino, Einaudi.
- Innis, H. (1982), *Le tendenze della comunicazione*, SugarCo, Milano.
- Lumbelli, L. (1982), *Psicologia dell'educazione, I, La comunicazione*, il Mulino, Bologna.
- Lumbelli, L. (1984), *Per una diagnosi della comprensibilità*, in *Riforma della Scuola*, n.3, pp.23-32.
- Lumbelli, L. (1986), *Il problema della soglia tra comprensione e incomprensione: linguistica e psicologia cognitiva*, in *Leggibilità e Comprensione*, a cura di De Mauro, T. et alii, *Linguaggi*, 3, p. 17.
- McLuhan, M. (1986), *Gli strumenti del comunicare*, Garzanti, Milano.
- Merzyn, G. (1987), *The language of school science, International Journal of Science Education*, 9, n.4, pp.483-492.
- Migliorini, B. (1970), *Linguistica*, Le Monnier, Firenze.

Insegnamento scientifico e autonomia cognitiva degli allievi nell'apprendimento

- Morris, G. (1949), *Segni, linguaggio e comportamento*, Longanesi, Milano.
- Mounin, G. (1972), *Introduzione alla semiologia*, Ubaldini, Roma.
- Ogden, C.K. e Richards, I.A. (1923), *The Meaning of Meaning*, Routledge and Kegan Paul, London.
- Peruzzi, L. (1997), *Definizione*, La Nuova Italia, Scandicci (Firenze).
- Piemontese, M.E. (1996), *Capire e farsi capire*, Tecnodid, Napoli.
- Porcelli, G. et alii (1990), *Le lingue di specializzazione e il loro insegnamento*, Vita e Pensiero, Milano.
- Rosengren, K.E. (2001), *Introduzione allo studio della comunicazione*, il Mulino, Bologna.
- Sutton, C. (1980), *La scienza, il linguaggio, il significato*, *The School Science Review*, pp.47-56.
- Swales, J. (1981), *Definitions, Science and Law, Evidence for subject-specific course component?*, *Fachsprache*, 3, pp.106-112.
- Titone, R. (1981), *Il linguaggio nell'interazione didattica*, Bolzoni, Roma.
- Vincenzi, A.B. (1986), *Migliorare l'interazione in classe*, *Nuova Secondaria*, n. 8.
- Vygotskij, L.S. (1966), *Pensiero e linguaggio*, Giunti-Barbera, Firenze.
- Watzlavich, P. (1981), *Teoría de la comunicación humana*, Herder, Barcelona.
- Watzlawick, P., Beavin, J.H., Jackson, D.D. (1971), *Pragmatica della comunicazione umana*, Astrolabio, Roma.



Préparation de l'oxygène par la décomposition
du chlorate de potassium.

CHIMICA, CREATIVITÀ, COLLABORAZIONE, E C₆₀: UNA INTERVISTA CON HAROLD W. KROTO

LIBERATO CARDELLINI

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche, Università Politecnica della Marche, 60131 Ancona;
libero@univpm.it

Harold Kroto è Professore di Chimica all'Università di Sussex e Presidente della Royal Society di Chimica (GB). Ha ricevuto il suo Dottorato nel 1964 per un lavoro di ricerca con R.N. Dixon sullo spettro elettronico ad alta risoluzione dei radicali liberi prodotti dalla flash fotolisi. Dopo tre anni di ricerca post-dottorato al National Research Council in Ottawa, Canada, e nei laboratori della Bell Telephone in Murray Hill, NJ, USA, incominciò la sua carriera accademica all'università del Sussex (Brighton, GB) nel 1967, dove divenne professore ordinario nel 1985. Nel 1991 venne fatto Professore Ricercatore della Royal Society e fin dal 1990 è stato presidente del consiglio editoriale del *Chemical Society Reviews*.

Il programma di ricerca di Harry Kroto ha coperto diverse aree interdisciplinari. Le sue principali aree di ricerca includono: la spettroscopia di campioni instabili e intermedi di reazione (infrarosso, fotoelettrone, microonde e spettrometria di massa); scienza dei cluster (aggregati di carbone e metallo, microparticelle e nanofibre); fullereni (chimica, fisica e scienza dei materiali) e astrofisica (molecole interstellari e polvere circumstellare).

Come presidente del consiglio della Vega Science Trust (<http://www.vega.org.uk>), promuove il lavoro della fondazione nel mondo. La fondazione mira a rendere accessibile una piattaforma dedicata per la scienza, per l'ingegneria e la tecnologia, per mostrare il vero volto della scienza anche come un'importante parte della nostra eredità culturale.

Harry Kroto è un uomo entusiasta ed appassionato. Trasmette la sua passione per la scienza nelle sue lezioni, presentazioni e seminari a gruppi di ogni età, inclusi migliaia di bambini. Al di fuori dei suoi interessi scientifici, Kroto ama giocare a tennis. La sua grande passione, tuttavia, è l'arte grafica e il disegno: nel 1964 ha vinto la competizione Sunday Times Book Jacket Design e nel 1994 il premio Moët Hennessy-Louis Vuitton Science pour l'Art.

L'importanza di Kroto come uno dei fondatori della chimica dei fullereni è stata anche riconosciuta dal conferimento del titolo di cavaliere. Il suo lavoro è stato valorizzato attraverso molti premi scientifici e lauree honoris causa. Nel 1996 fu premiato con il Premio Nobel per la Chimica insieme a Robert F. Curl, Jr. e Richard E. Smalley per la loro scoperta dei fullereni [1].

L'intervista

Il Premio Nobel Harold Kroto, è famoso per il suo lavoro sui fullereni. Questa intervista vuole offrire spunti per capire come le sue scoperte e le sue interpretazioni delle stesse, furono influenzati dai suoi altri interessi nei più ampi campi della chimica e dalla sua passione per l'arte. Esprime anche delle opinioni forti su come i chimici del futuro dovrebbero essere formati per favorire la creatività.

Liberato Cardellini: Perché non cominciamo con una breve biografia. Com'è riuscito a diventare un insegnante e perché ha scelto una carriera nell'ambito accademico?

Harold Kroto: Beh, non che l'abbia davvero scelto; dopo la laurea di primo livello stavo facendo un dottorato in spettroscopia a Sheffield e allora andai in Canada per fare un post-dottorato per due anni. Ho pensato che mi sarebbe piaciuto vivere negli USA e ho trovato un lavoro in una università e poi mi fu offerta una borsa di studio all'Università di Sussex. Stavo sempre considerando che forse potevo dedicarmi all'arte grafica e al disegno ma mi era stata offerta



Harold W. Kroto
Foto di Nicholas Sinclair

Intervista a H. W. Kroto

una posizione universitaria che mi riportava in GB, così ho pensato di accettarla per un anno o due per vedere come sarebbero andate le cose. Circa sei mesi dopo che ero ritornato dagli Stati Uniti, mi fu offerta una posizione permanente all'Università di Sussex. Ho deciso così di vedere se mi piacesse fare ricerca e insegnare: le cose sono andate piuttosto bene e alla fine sono rimasto e ho continuato nell'accademia.

Può dire qualcosa sulle sue ricerche prima del 4 Settembre 1985?

Tra il 1967, quando tornai all'Università di Sussex e il 1985, quando fu scoperto il C_{60} , ho intrapreso molti progetti di ricerca. Studiavo la spettroscopia Raman delle interazioni allo stato liquido considerando le forze intermolecolari. Ho fatto della flash fotolisi studiando lo spettro elettronico delle molecole – che era quello che avevo fatto per il mio dottorato. Allora sono andato avanti per lavorare sullo spettro microonde di piccole molecole e quelle furono veramente alcune delle aree di maggior successo tra il 1969 e il 1985. E infatti, il lavoro di cui io sono più orgoglioso è la creazione della prima specie $C=P$ e $CH_2=PH$ è la mia molecola preferita [2, 3]. Alcune persone potrebbero pensare che sia il C_{60} , ma realmente è CH_2PH .

Abbiamo anche fatto molecole con i tripli legami $C\equiv P$, chiamati fosfoalchini e fosfoalcheni con il doppio legame. Abbiamo fatto anche composti di boro zolfo, e alcuni composti $C=S$ – tiocarbonili. Ho fatto anche della spettroscopia all'infrarosso, molta spettroscopia fotoelettronica, come anche spettroscopia interstellare; praticamente tutti gli aspetti della spettroscopia. Un progetto interessante che ho incominciato con David Walton alla Sussex era lo studio di lunghe molecole a catena di carbonio e il lavoro originale fu fatto con uno studente, Anthony Alexander e anche con Colin Kirby. Questo ha portato ad un progetto per cercare di vedere se le molecole con catene di carbonio esistevano nell'ambiente interstellare e ho svolto una ricerca con un amico al NRC (National Research Council) in Canada con il quale avevo lavorato durante il post-dottorato, Takeshi Oka, e abbiamo cercato di rivelare le molecole a catena di carbonio nello spazio interstellare via radioastronomia utilizzando il telescopio del Parco Algonquin in Canada. Il lavoro fu fatto con alcuni astronomi Canadesi, Norm Broten, John MacLeod, e Lorne Avery; fummo incredibilmente fortunati perché le trovammo. Tra il 1975 e il 1980 fu un periodo molto eccitante perché scoprimmo che nell'ambiente interstellare esistevano catene sempre più lunghe.

Buckminsterfullerene

La scoperta del buckminsterfullerene è una storia molto bella e un esempio di cooperazione interdisciplinare. Potrebbe raccontarci qualcosa?

Con il tempo le tecniche dell'infrarosso e radio si sviluppavano e si potevano vedere le emissioni dalle stelle, stelle fredde, stelle vecchie, stelle di carbonio e le molecole a catena di carbonio che vi furono scoperte: ho cercato di capire come erano fatte le molecole a catena di carbonio. L'idea che avevo sviluppato tra il 1978 e 1985 era che le molecole a catena di carbonio probabilmente erano prodotte con più efficienza nei gusci circumstellari delle stelle di carbonio. Le stelle di carbonio hanno un rapporto carbonio/ossigeno più grande di 1. Le stelle di ossigeno hanno un rapporto ossigeno/carbonio maggiore di 1. Ho pensato che nei gusci circumstellari di tali stelle dove il gas è caldo e moderatamente denso sarebbe possibile la formazione di lunghe molecole a catena di carbonio. Ho avuto questo in mente per un tempo piuttosto lungo, ma non pensavo seriamente di farci un esperimento – stava semplicemente lì nel retro della mia mente.

È stato durante una visita ad Austin, Texas, che passai ad Houston per vedere Bob Curl e lui mi suggerì di parlare con Rick Smalley che aveva sviluppato alcuni fantastici apparati per vaporizzare metalli come l'alluminio e il ferro. Se un laser viene focalizzato su un materiale refrattario come un metallo ed il punto diventa molto caldo – $5000/10000^\circ\text{C}$ – in quel punto il metallo può vaporizzare. Se guardi con uno spettrometro di massa al materiale che si forma nell'elio, il plasma si raffredda e si condensa per formare aggregati. Questi aggregati potrebbero avere diciamo 10, 11, 12, o anche 15 atomi metallici legati assieme. Mi è sembrato che questo fosse un metodo ideale per realizzare le molecole a catena di carbonio e testare l'idea che forse erano generate nei gusci circumstellari delle stelle. L'idea era di simulare la chimica in un guscio stellare e quello fu l'esperimento che portammo avanti un anno dopo, nel 1985 [4].

Andai a Houston e con gli studenti Jim Heath, Sean O'Brien e Yuan Liu ottenemmo le molecole a catena di carbonio come avevo previsto ma allo stesso tempo scoprimmo che si formava la molecola di C_{60} . Così puoi dire veramente che fu la combinazione dello sviluppo di un superbo pezzo di apparato sperimentale che riusciva a creare aggregati di molecole dal materiale refrattario con idee che vengono dalla radioastronomia e dalla spettroscopia molecolare: fu così una bella conflazione di un'idea da una disciplina e gli sviluppi sperimentali di un'altra.

Perché ha chiamato il C_{60} col nome dell'architetto R. Buckminster Fuller?

Quando abbiamo avuto le evidenze della formazione della specie con 60 atomi di carbonio abbiamo dovuto pensare a

come o cosa avrebbe potuto essere. Sapevamo (tutti lo sapevano!), che la grafite tende a formare aggregati di atomi di carbonio a geometria esagonale e ci chiedemmo se questi fogli potessero chiudersi in una gabbia esagonale comprendente 60 atomi di carbonio. Sono stato all'Expo '67 (La Fiera Mondiale in Montreal, Canada) e avevo visto la cupola di Buckminster Fuller e avevo anche la rivista di arte grafica chiamata *Graphis* con all'interno l'immagine della cupola geodetica che avevo guardato numerose volte essendo stato a quella esposizione – avevo addirittura fatto un film all'Expo '67.

Infatti, molti anni prima, prima che mi fosse offerta la posizione permanente a Sussex, avevo pensato di cercare un lavoro con Buckminster Fuller per studiare la maniera in cui le città si sviluppavano. Aveva un discreto numero di interessanti progetti di ricerca. Uno di questi implicava idee su come le città crescevano. Avevo anche fatto una cupola stellata (ovvero una mappa del cielo) che si rivelò essere un icosaedro troncato. Durante la nostra discussione su cosa potesse essere l'agglomerato del C_{60} , abbiamo pensato che forse la disposizione esagonale arricciata in un sfera chiusa in qualche modo e questo avrebbe potuto spiegare perché era stabile e discretamente non reattiva. Le idee di Buckminster Fuller erano parte del processo mentale e quando giungemmo alla conclusione che poteva essere una cupola geodetica, ho suggerito che avremmo dovuto chiamarlo secondo il nome di Buckminster Fuller. In fullerene la terminazione -ene è perfetta per un aggregato di molecole con doppi legami. Il benzene è un anello a sei membra con tre doppi legami, la naftalina ha due anelli, tre nell'antracene, e Buckminsterfullerene mi sembrò un bel nome, anche se un po' lungo [5].

Leggendo gli articoli che ha scritto prima che ci fosse l'evidenza dei raggi X [6-12], è sorprendente constatare quanto forte era la sua convinzione della struttura chiusa. È stato il suo amore per il disegno ad aiutare a prevedere la struttura corretta?

Io penso che tutti gli scienziati che hanno successo trovano belle le strutture, sia nei numeri che nelle simmetrie spaziali. Cercano le maniere per cui le cose s'incastano in magnifiche strutture. Penso che quando siamo arrivati alla conclusione che la molecola di C_{60} potesse essere una bellissima struttura simmetrica a palla con dodici pentagoni e venti esagoni, penso che fossimo tutti, sin dal primo istante, alquanto convinti che dovevamo aver ragione. Penso che successivamente abbiamo probabilmente avuto strani pensieri che forse ci potevano essere altre soluzioni anche se, fondamentalmente penso che il fatto che fosse una struttura così bella ed elegante era molto convincente. Sono particolarmente orientato sull'aspetto visivo: mi piacciono le strutture belle a vedersi e non necessariamente solo quelle simmetriche. In particolare mi piace l'arte grafica, l'arte moderna e l'asimmetria. Penso che tu abbia ragione; è stato importante che sia stata una struttura elegante. In seguito ebbi ovviamente alcune domande e continuavo ad andarci sopra nella mia mente e a pensare agli esperimenti che avevamo fatto e a tutte le evidenze. In effetti il momento cruciale per me venne quando ho realizzato che la prima struttura che poteva chiudere senza pentagoni adiacenti era il C_{60} . Quello fu un momento importante perché mi sono reso conto che c'è bisogno di dodici pentagoni per chiudere una qualsiasi rete di esagoni. Non puoi farcela solo con gli esagoni. Allora ho giocato un po' con il concetto e ho ipotizzato che la seconda struttura che potesse chiudere era il C_{70} . Tra 60 e 70 la rete non può chiudersi senza mettere due pentagoni fianco-a-fianco: il C_{70} era il successivo picco intenso e così a quel punto ero assolutamente convinto che avevamo ragione.

Per quanto concerne la struttura avevo tre pensieri: uno era che la cupola geodetica di Buckminster Fuller avrebbe potuto fornire un indizio, il secondo era la cupola stellata che avevo fatto per i miei bambini alcuni anni prima. Era un icosaedro troncato ma a quel tempo non potevo ricordarmelo granché bene anche se sapevo che aveva dei pentagoni oltre agli esagoni. Non sapevo che c'erano pentagoni nella cupola geodetica. Avevo anche un'altra struttura che non era una superficie chiusa ma era anch'essa un po' tondeggiante, effettivamente, un anello a sei membri e poi una struttura a sette anelli, una sorta di struttura a coronene e poi un'altra struttura a coronene e quindi un'altro anello a sei membri. E quello dava il numero sessanta (sei più ventiquattro più ventiquattro più sei). Così avevo tre idee. Ho preso in considerazione se chiamare mia moglie quella notte per sapere se la cupola stellata che avevo fatto per i miei bambini avesse sei vertici ma non lo feci visto che sarei tornato a casa il giorno dopo e avrei potuto contare da solo. Intanto Rick aveva cercato di chiudere la struttura di esagoni ma non c'era riuscito. Poi si ricordò che avevo suggerito i pentagoni e quando ci provò scoprì che la struttura si chiudeva in una bella ed elegante struttura. Il giorno dopo, quando portò dentro la struttura, un piccolo modello di carta, ero ovviamente estasiato e sono sicuro che anche il resto di noi lo fu.

Cosa può dire su Lone Ranger e Tonto¹? Ci può essere una spiegazione per cui il C_{60} è sempre il fullerene dominante?

Io penso che il C_{60} sia la struttura dominante perché è la prima che si può chiudere senza che alcuno dei dodici pentagoni sia adiacente (ciò che chiamiamo confinante) e sappiamo dalla chimica organica e dalla nostra comprensione della chimica del carbonio che se hai due pentagoni fianco a fianco quella tende ad essere una struttura instabile. Allora la prima volta che una gabbia stabile si può formare è per il C_{60} (cinque moltiplicato dodici fa sessanta).

Intervista a H. W. Kroto

Il programma di ricerca

Lei ha lavorato con il radio-telescopio all'Algonquin Park e alla Rice University. Prima di vincere il Premio Nobel è stato sempre facile per lei trovare i soldi per il suo lavoro di ricerca?

Ho lavorato con astronomi Canadesi ed è anche vero che a metà degli anni settanta non c'erano telescopi in GB che potessero permettere gli esperimenti di radioastronomia che io volevo fare. Così ho contattato il mio collega Takeshi Oka al NRC e ci siamo uniti con gli astronomi in Canada per fare l'esperimento: loro avevano il telescopio e a dire il vero non avevo bisogno di molti soldi. Feci le misure di laboratorio con il mio collega David Walton con Anthony Alexander (uno studente alla Sussex) e con il gruppo Canadese e scoprimmo la prima molecola a catena di carbonio. Quindi sintetizzammo la successiva e io feci un salto in Canada. Avevo una sovvenzione NATO (\$2000-3000 all'incirca) per viaggiare tra la GB e il Canada. Così non fu dispendioso perché ovviamente il telescopio era già lì e non fu difficile convincere i Canadesi che questo era un esperimento interessante.

Per quanto concerne Rice, mi è semplicemente accaduto di essere lì in visita e ho suggerito l'esperimento della vaporizzazione del carbonio a Bob Curl e Rick Smalley. Hanno pensato che lo potevamo inserire all'interno di uno dei loro altri progetti: quando Bob mi ha telefonato e mi disse che lo avrebbero fatto io decisi di precipitarmi alla Rice University. Questo accadeva nella tarda estate del 1985 e costò solo circa £300. Io stavo con Bob Curl e così gli esperimenti si addossarono ad alcuni esperimenti che loro stavano facendo sul silicio e l'arseniuro di gallio. Così, di nuovo non mi costò molto, ma certamente è costato molto costruire l'apparecchiatura di Rice. Effettivamente l'esperimento che ha portato alla scoperta richiese circa una settimana e s'incastò perfettamente negli esperimenti che venivano portati avanti alla Rice. Io poi a dire il vero ho avuto un po' di soldi dall'EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council) per andare alla Rice per seguire la scoperta. Questi erano soldi per i viaggi per andare alla Rice ogni sei settimane circa per due o tre anni. Questo andò avanti per un anno e mezzo per testare realmente la nostra idea sperimentalmente. Rice pagò per le mie spese locali e, come ho menzionato, l'EPSRC della GB ha pagato per le mie spese di viaggio e tutto è stato possibile inserendomi negli esperimenti che venivano condotti alla Rice.

I soldi per la ricerca sono sempre difficili da rimediare. Allo stesso tempo avevo i miei programmi di ricerca nella spettroscopia molecolare – ed anche per questi ho sempre trovato delle difficoltà a trovare i soldi per la ricerca. Mi ci è voluto dal 1967 al 1974 per avere un mio personale spettroscopio a microonde. Quando nel 1974 (settembre o ottobre) l'ho avuto, non mi sono più guardato indietro; quello era il momento in cui stavo veramente facendo del lavoro sperimentale molto bello. Ancora oggi devo cercare i soldi per la ricerca, anche se in effetti ho sempre dei laureati e loro vengono sostenuti dall'EPSRC. Lo spettroscopio a microonde ha lavorato continuamente tra il 1974 e il 1985, per undici anni. È stato il mio strumento quotidiano finché non è saltato fuori il progetto del C₆₀.

Il C₆₀ è un "Super alkene", un precursore di molti composti. Può menzionare alcuni tra i più interessanti composti ottenuti e le loro applicazioni?

Per quanto riguarda il C₆₀ certamente la sua chimica è molto interessante. Gli studi sull'alogenazione [13] furono effettuati qui da Paul Birkett che ha scoperto che si possono aggiungere sei alogeni alla superficie del C₆₀ o a volte otto. Di fatto, anche 24, così noi e altri abbiamo trovato che ci sono particolari configurazioni dell'addizione. Roger Taylor ha studiato parecchio gli aspetti sintetici del C₆₀ [14, 15]. Con David Walton mi sono focalizzato maggiormente sulle implicazioni in nano-tecnologia dei relativi nano tubi [16, 17]. Fino a questo momento non ci sono applicazioni che siano veramente decollate: penso sia ancora presto e ci vorrà molto tempo prima che una molecola con un comportamento così peculiare e nuovo trovi applicazioni. Ci sono molte idee, ma a questo stadio non penso che qualcuno abbia fatto dei soldi col C₆₀. Penso che questo incomincerà a succedere molto presto, perché ci sono interessanti aspetti di superconduttività e un'ampia gamma di altre proprietà elettroniche e ottiche.

Tra la scoperta del buckminsterfullerene e la prova conclusiva della sua struttura con l'NMR, ci sono stati momenti di sconforto? Come ha trovato la forza di continuare?

Ci furono diverse pubblicazioni che affermavano che ci stavamo sbagliando, eppure come ho detto prima, quando mi sono reso conto che il C₇₀ era il secondo magico fullerene ero totalmente convinto e sapevo che un giorno avremmo avuto ragione. Questa convinzione si era formata da circa sei mesi a un anno dopo la scoperta iniziale, quindi fondamentalmente dal 1986 o metà-1986 in avanti; non ho mai avuto realmente alcun dubbio che quella struttura a palla da calcio fosse corretta.

Insegnare ed imparare la scienza e la creatività

Alcuni docenti spendono la loro vita cercando di migliorare il loro insegnamento. Lavorano senza alcun riconoscimento, spesso trattati come cittadini di seconda classe. Trova qualche analogia con il suo lavoro? In retro-

spettiva, quanto ha contribuito la sua formazione per il suo susseguente successo? L'entusiasmo è importante nell'insegnamento, come lo è nella ricerca?

È certamente vero che l'entusiasmo degli insegnanti è importante. Se non si ha un insegnante entusiasta l'apprendimento può risultare difficile – tuttavia l'entusiasmo è più sottile di quanto molta gente possa pensare. Il come un insegnante interagisce con uno studente è molto soggettivo per ciò che riguarda lo studente. Ho scoperto che alcuni insegnanti – che altra gente non amava perché non trovava interessanti, o trovava noiosi – per me erano piuttosto interessanti. Capivo che cosa dicevano: d'altra parte, è come una lingua. Se non riesci a comprendere l'Inglese allora chi parla Inglese non può comunicare con te. D'altra parte, se ti sforzi di stimare ciò che gli studenti trovano interessante allora incominci ad apprezzare come funziona la loro mente e ciò che li rende attenti. Cioè si commette un grosso errore, credo, nel cercare di portare le persone a saltellare ed eccitarsi e ad eccitare i bambini: non penso sia questa la via. L'insegnamento della scienza è molto diverso dal punto di vista della comunicazione mediatica; spesso dovrebbe essere come un'attenta e silenziosa interazione tra l'insegnante e gli studenti: in questo modo a volte è molto più efficace. Allora di nuovo è una relazione tra persona e persona. Alcuni studenti imparano meglio in un ambiente entusiasmante; altri preferiscono essere molto attenti e sviluppare le cose essi stessi. Questo è un problema reale, perché non ci si può certo permettere trenta insegnanti diversi per trenta differenti studenti; solitamente si ha un insegnante per trenta studenti. Gli studenti sono tutti diversi e allora l'insegnante dovrebbe provare tutte le diverse e possibili maniere d'insegnare e questo è alquanto difficile.

L'attuale sistema d'insegnamento è efficace o deve essere cambiato in modo da formare più gente creativa? Potrebbe dare qualche suggerimento al riguardo?

Non conosco come le persone creative sviluppano la loro creatività. Penso che richieda un tipo di istruzione che sia più soggettiva e che si articoli attorno ad ogni individuo che è alquanto diverso dagli altri. Non credo si sia ancora capito come riuscire a farlo e richiederebbe molti insegnanti – un insegnante per studente.

Come è possibile rendere i bambini più interessati alla scienza?

Alcuni bambini si interessano molto alla scienza e alla tecnologia. Forse a scuola, magari una volta alla settimana, i bambini dovrebbero andare indietro nel tempo e spendere un intero pomeriggio vivendo come se fossero nel diciottesimo secolo così da riuscire ad apprezzare quanti lussi la scienza e la tecnologia ci hanno portato e provare a vedere se sono in grado di apportare dei miglioramenti loro stessi. Il problema è che la tecnologia oggi è così avanzata che i bambini piccoli non riescono proprio a capire come funziona.

Nel passato forse era possibile vedere come alcune cose funzionassero in pratica: per esempio, con il motore a vapore e le locomotive, potevi vedere un pochino come funzionavano ma i motori elettrici sono leggermente più difficili e i computer sono impossibili. Penso sia un processo lento e i bambini hanno bisogno di ricevere cose che funzionano davvero, non tanto giochi ma oggetti che possono smontare e poi rimettere assieme e farli funzionare di nuovo. Sfortunatamente, la nostra società moderna è così avanzata che molte cose, quando si rompono si buttano, visto che non possono essere riparate facilmente. Forse questo è il problema maggiore: nel passato era possibile riparare quasi tutto. Il processo di riparazione è un aspetto chiave dell'apprendimento su come le cose funzionano e quindi anche dell'insegnamento scientifico.

La responsabilità sociale degli scienziati

Si interessa molto "dell'immagine" dello scienziato nella società. Qual è il ruolo dello scienziato nella società?

Dovremmo cercare di assicurarci che tutti capiscano, siano coscienti e possano apprezzare che cosa la scienza ha fatto per loro. La gente dovrebbe capire che dobbiamo prendere decisioni assennate, decisioni caute e decisioni sagge. Il sapere scientifico può essere usato sia a beneficio della società quanto in maniera dannosa e noi come società non abbiamo fatto tutta la nostra parte nell'assicurarci che la scienza e la tecnologia vengano impiegate per il beneficio della società. Gli scienziati devono lavorare facendo davvero gli straordinari perché il linguaggio della scienza è molto complicato. La scienza e la tecnologia hanno liberato la società dall'onere del dover lavorare solo per sopravvivere e penso che la gente nella seconda parte dell'ultimo secolo questo lo abbia dimenticato e ciò costituisce un problema molto serio.

Politiche di finanziamento della ricerca

Il sistema politico esercita pressioni sugli scienziati per avere risultati nelle scienze applicate. Lei è uno strenuo difensore della ricerca di base. Dov'è che sbagliano i politici?

Penso che molti scienziati siano molto simili a dei bambini che vengono affascinati dalle cose che vedono e non riesco-

Intervista a H. W. Kroto

no a comprendere. Così la difficoltà di scoprire come le cose funzionano sia la motivazione principale, la spinta verso la comprensione dell'essenza. Certamente, dall'altro capo, c'è la motivazione a risolvere un problema e sviluppare qualcosa che sia di valore. Per esempio a produrre un processore più veloce per un computer o per poter immagazzinare più informazioni. In un certo senso, c'è bisogno di tutte le sfaccettature della strategia di ricerca per migliorare la tecnologia esistente. La scoperta di nuovi processi, composti ed effetti totalmente inaspettati è la base della ricerca fondamentale. Da qualche parte nel mezzo, deve essere fatto un collegamento tra l'uno e l'altro di questi estremi. Un esempio che calza bene è l'invenzione del laser: Charles Townes era interessato a sviluppare un amplificatore ad alta frequenza e il risultato fu la scoperta del laser. Non aveva previsto l'utilizzo del laser nella chirurgia oculare. Nel 1950 si sarebbero potuti dare tutti i soldi del mondo ai chirurghi per gli occhi ma loro non avrebbero sviluppato un laser; non ne erano in grado. E così abbiamo un bell'esempio di come la scienza di base dovrebbe essere supportata e andare di pari passo con la ricerca applicata. Ora io non credo veramente che i nostri politici la prendano sempre dal modo sbagliato; mi sembra che la scienza fondamentale sia supportata. Il CERN (Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire) viene supportato ed è alquanto di base ed anche molto dispendioso.

È un problema del giusto equilibrio della bilancia ed è piuttosto difficile in quanto i profani non apprezzano l'aspetto culturale ed intellettuale della scienza. In generale chiedono: a che serve? Solo gli scienziati veramente apprezzano l'aspetto intellettuale. Penso sia come una lingua; se non capisci il Giapponese allora non puoi capire veramente la cultura del Giappone. Se non capisci il simbolismo matematico, chimico e fisico, le equazioni e tutto questo genere di cose, allora non puoi capire veramente l'essenza della scienza. Perciò l'unica cosa che la persona media che non comprende la scienza può valutare è l'applicazione. La scienza ha tre aspetti: uno è essenzialmente la conoscenza che si apprende a scuola, poi ci sono le applicazioni della scienza e quindi c'è la natura intrinseca del processo scientifico, il come la nuova scienza viene scoperta, il trovar le cose, il come la ricerca viene realizzata. Questi tre aspetti si fondono l'uno nell'altro, ma sono anche differenti. L'ultimo si addice allo scienziato di base che ha bisogno di essere supportato. Non penso che i politici la vedano in modo di per sé sbagliato: a volte la bilancia è troppo spinta verso le applicazioni perché è quello che interessa al politico. Tutto questo ha a che fare con la maniera in cui i soldi vengono spesi e loro vogliono qualcosa da mostrare direttamente alla società che sia stato di utilità. Con la scienza fondamentale ci possono volere 50-100 anni per lo sviluppo di una applicazione, quando invece i politici sono gente interessata a breve termine, stanno su per tre, quattro o cinque anni e poi se ne vanno. Perciò, se dici che la ricerca sui cristalli liquidi deve essere finanziata, nel 1870 quando Reinitzer fece i primi esperimenti era molto difficile prevedere le odierne applicazioni sui circuiti video degli orologi da polso. È su questi argomenti che dobbiamo continuare ad insistere.

La vita oltre i fullereni

Nel 1994 ha vinto il prestigioso premio Moët Hennessy-Louis Vuitton Science Pour L'Art, e ha così tanti interessi scientifici. Cosa fa nel tempo libero, per svagarsi?

Sfortunatamente al momento ho poco tempo libero. Devo continuare a portare avanti il mio programma di ricerca e i miei colleghi alla Sussex lo comprendono abbastanza. Sono coinvolto nel Vega Science Trust, che ha come scopo quello di portare gli scienziati a fare programmi e trasmetterli su Internet come pure in televisione. Il mio interesse principale nella vita è effettivamente l'arte grafica e il disegno e uno di questi giorni spero di potermi rimettere perché lo sento come una parte della mia vita inadempita. Solo che non mi aspettavo che una scoperta così importante sarebbe avvenuta a prendersi tutto il mio tempo come è successo.

Alcune parole conclusive

Harry Kroto si sforza di intraprendere creativamente la ricerca scientifica, di aumentare la pubblica consapevolezza e comprensione delle questioni scientifiche e di trovare più tempo per l'arte grafica e il disegno. Il sito Web di Harry kroto, <http://www.kroto.info/> fornisce una panoramica sul suo lavoro scientifico e mostra anche alcuni suoi lavori artistici. Ci sono collegamenti per i visitatori interessati che conducono ad informazioni addizionali sui progetti di Kroto e altri siti Web correlati.

Note

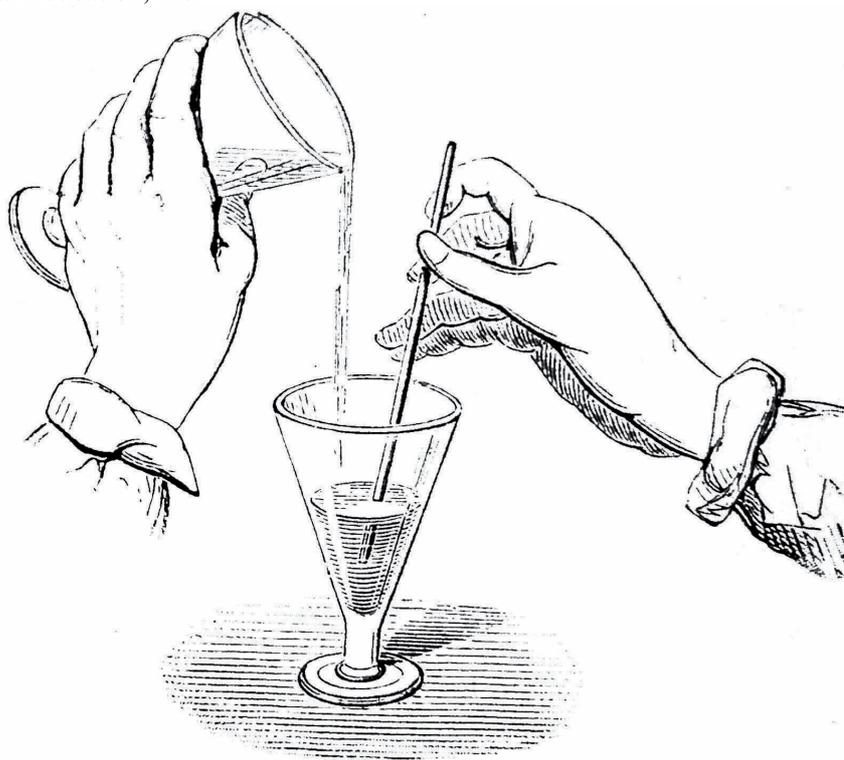
1. Lone Ranger e Tonto erano un famoso duetto della radio e televisione americana. Bob Dylan li ha immortalati in una lirica blues, riportata in H.W. Kroto, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **1992**, *31*, 111–129.

*Well the Lone Ranger and Tonto
They are ridin' down the line
Fixin' ev'rybody's troubles
Ev'rybody's 'cept mine.
Somebody must a tol' 'em that I was doin' fine.*

Bibliografia

1. Premio Nobel in Chimica, 1996: <http://nobelprize.org/chemistry/laureates/1996/press.html>
2. M.J. Hopkinson, H.W. Kroto, J.F. Nixon, N.P.C. Simmons, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, **1976**, 13, 513–515.
3. H.W. Kroto, *Nachr. Chem. Tech. Lab.*, **1982**, 30, 765–770.
4. H.W. Kroto, J.R. Heath, S.C. O'Brien, R.F. Curl, R.E. Smalley, *Nature (London)*, **1985**, 318, 162–163.
5. H.W. Kroto, *Nature (London)*, **1986**, 322, 766.
6. H.W. Kroto, *Nature (London)*, **1987**, 329, 529–531.
7. H. Kroto, *Science*, **1988**, 242, 1139–1145.
8. H.W. Kroto, K. McKay, *Nature (London)*, **1988**, 331, 328–331.
9. J.P. Hare, T.J. Dennis, H.W. Kroto, R. Taylor, A. Wahab Allaf, S. Balm, D.R.M. Walton, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, **1991**, 412–413.
10. R. Taylor, J.P. Hare, A.K. Abdul-Sada, H.W. Kroto, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, **1990**, 1423–1425.
11. S. Balm, A. Wahab Allaf, H.W. Kroto, J.N. Murrell, *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, **1991**, 87, 803–806.
12. M.F. Meidine, P.B. Hitchcock, H.W. Kroto, R. Taylor, D.R.M. Walton, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, **1992**, 20, 1534–1537.
13. P.R. Birkett, A.G. Avent, A.D. Darwish, H.W. Kroto, R. Taylor, D.R.M. Walton, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, **1993**, 15, 1230–1232.
14. A.G. Avent, P.R. Birkett, H.W. Kroto, R. Taylor, D.R.M. Walton, *Chem. Commun.*, **1998**, 19, 2153–2154.
15. A.D. Darwish, A.G. Avent, P.R. Birkett, H.W. Kroto, R. Taylor, D.R.M. Walton, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2*, **2001**, 7, 1038–1044.
16. Y.Q. Zhu, W.K. Hsu, H.W. Kroto, D.R.M. Walton, *Chem. Commun.*, **2001**, 21, 2184–2185.
17. Y.Q. Zhu, T. Sekine, K.S. Brigatti, S. Firth, R. Tenne, R. Rosentsveig, H.W. Kroto, D.R.M. Walton, *J. Amer. Chem. Soc.*, **2003**, 125, 1329–1333.

Traduzione autorizzata dal **Journal of Chemical Education**, Vol. 82, No. 5, 2005, pp. 751-755; copyright © 2005 Division of Chemical Education, Inc.



Formation d'un sel par la réaction
de l'acide sulfurique sur la potasse.

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

VALENTINA DOMENICI *

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università di Pisa,
via Risorgimento 35, 56126 Pisa, Italia.
e-mail: valentin@dcci.unipi.it

* Questo articolo è un estratto della Tesi di Master in Comunicazione della Scienza, discusso il 20 novembre 2006, presso la SISSA di Trieste: "L'immagine della chimica dai musei e dalle collezioni di chimica in Italia", relatore: dr. Paola Rodari, correlatore: dr. Pietro Greco.

Sommario

Nei musei scientifici la chimica è piuttosto limitata, se non assente. Ma esistono musei interamente dedicati alla chimica? In Italia ne esistono in tutto una ventina, tra piccoli musei gestiti dalle scuole superiori e collezioni universitarie. Purtroppo, la loro visibilità è molto bassa: il numero dei visitatori annuo è quasi sempre sotto le mille unità.

Gli spazi limitati, la mancanza di fondi e la quasi totale assenza di personale stipendiato sono gli elementi più problematici emersi da questa ricerca. Tuttavia, l'importanza di questi musei è indiscutibile, sia per l'elevato valore storico, che come strumento didattico, senza dimenticare il ruolo di queste istituzioni per stimolare la curiosità e l'approfondimento della chimica.

Introduzione:

L'immagine della chimica nella società

La parola "chimica" evoca spesso nella mente della gente qualcosa di artificiale, in netta contrapposizione a naturale. Questa dicotomia è solo una delle tante che caratterizzano la percezione della scienza chimica: danno e beneficio, statico e dinamico, puro e impuro sono solo alcuni esempi. Se in certi casi queste contraddizioni fanno parte della chimica, o meglio della storia della chimica, in altri sono più complesse da razionalizzare, perché frutto di una serie di fattori, anche emotivi. Una descrizione efficace della percezione della chimica nella società di oggi viene dal premio Nobel Roald Hoffmann, che a proposito delle associazioni naturale-puro e chimico(-artificiale)-impuro scrive: "Se dovessimo cercare la sostanza più pura presente nel nostro ambiente [...] troveremmo che, al livello delle parti per milione, potremmo non voler sapere cosa c'è dentro! In effetti ogni cosa è piuttosto contaminata. Ciò vale specialmente per le sostanze naturali, che in media sono molto più impure di quelle sintetiche. Ed è bene che sia così." [1] E ancora: "... (i chimici) si sentono a volte assillati dalla società in quanto producono materiali «innaturali». Aggettivi come «esplosivo», «velenoso», «tossico» sono così strettamente associati a nomi e vocaboli chimici da essere diventati espressioni ricorrenti. ... a tutto ciò che è «naturale», «coltivato biologicamente», «non adulterato» e via dicendo si riconoscono connotazioni positive. Eppure si producono e si vendono molte sostanze sintetiche. Grazie a esse possiamo abitare in case più confortevoli, curare meglio la nostra salute..." [1] Di fatto, però, la chimica, come afferma Vittorio Marchis, "...resta di fronte ai nostri occhi una scienza dura e per molti versi astratta." [2] E quando si chiede alle persone di pensare a un'immagine a cui associano la parola chimica, spesso emerge il suo legame con gli elementi più negativi della società: l'inquinamento, la droga e le armi. "... la Chimica stava (sta) attraversando un periodo di crisi, forse anche a causa della (inesatta) percezione che essa sia esclusivamente legata ai problemi di inquinamento, di manipolazioni artificiali, di gravi rischi ecologici". [2]

Ma che cosa è la chimica? È, come scrive Hoffmann, [1] la scienza di cui ci accorgiamo solo quando un'autocisterna di benzina va a finire in un fiume oppure quando assistiamo a uno spettacolo pirotecnico? Dal greco "chēmēia", nell'antichità si definiva l'arte di trasformare i metalli comuni in oro e argento. Tracce della parola compaiono nell'Antico Egitto: 'chem', ovvero terra nera. Ma furono gli arabi a coniare la parola 'al-kīmīyā' che sarebbe diventata alchimia, la progenitrice della scienza moderna della chimica. [3] Con i limiti normalmente insiti nelle definizioni, potremmo dire che la chimica è la scienza che studia le proprietà delle sostanze (naturali e artificiali, tutte!) e il modo in cui queste sostanze si trasformano e reagiscono tra loro. Ma, come afferma lo storico della chimica Luigi Cerruti "...una comprensione della chimica che si limitasse a considerare questa relazione sarebbe mutila di senso e svuotata di vigore. [...] possiamo invece ricorrere alla pratica storiografica". [4] L'analisi storica oltre a spiegare la nascita della chimica, da pratica alchimista a grande scienza del Novecento, ci può anche aiutare a capire le ragioni della crisi dell'im-

magine della chimica, argomento toccato seppur marginalmente in questo studio. Tuttavia, per capire cosa è la chimica non si può prescindere dall'aspetto umano del mestiere del chimico, fatto di creatività, curiosità e conoscenze dalle radici profonde, di rigore e passione al tempo stesso. Diceva Primo Levi in un'intervista alla Rai nel 1986 "... anche il profano sa che cosa vuol dire filtrare, cristallizzare, distillare, ma lo sa di seconda mano: non ne conosce la «passione impressa», ignora le emozioni che a questi gesti sono legate..." [5]

Prima di vedere quale è l'immagine della chimica che emerge dai musei scientifici e quale è il loro ruolo, è interessante dare uno sguardo alle altre forme di comunicazione, così come la letteratura, il cinema e l'iconografia più in generale.[6] Il chimico che emerge dalla letteratura classica[7] ricalca l'archetipo dell'alchimista medioevale: pericoloso e un po' pazzo, dall'aria sinistra, nascosto dietro l'aurea enigmatica delle sue formule incomprensibili. Due figure emblematiche della letteratura che hanno influenzato sicuramente l'immagine dello scienziato e in particolare del chimico sono proprio il Dr. Faust di Goethe e il famoso Frankenstein di Mary Shelley. [7] Solo recentemente, la chimica raccontata in alcuni nuovi romanzi è anche qualcosa di diverso e, dopo tutto, di positivo.[8]

Tutt'altra immagine viene presentata sugli schermi. Da un'analisi accurata di 222 pellicole, dal 1920 al 2001, Peter Weingart[9] ha trovato che se tra i personaggi c'è uno scienziato che figura tra i "cattivi", o responsabile di malefatte, spesso è un chimico. E ancora di più se il film è del genere horror! Nell'iconografia le cose non vanno meglio: analizzando le immagini digitali e le clip-art che rappresentano scienziati di vario tipo, si trova che una volta su due lo scienziato pazzo è un chimico. Il chimico appare quasi sempre un vecchio, con barba e occhiali, in camice bianco, immerso e assorto nel suo laboratorio (*Figura 1*).



Figura 1: L'immagine del chimico nell'iconografia. (da www.google.it)

Indagare le motivazioni dell'immagine negativa della chimica nella società non è lo scopo di questo lavoro, tuttavia è da segnalare un aspetto legato a una delle attività più importanti e incisive dei musei scientifici: la didattica, rivolta in special modo ai bambini. L'ansia e il timore di tutto ciò che è chimico viene spesso trasferito ai bambini, in modo acritico, direttamente dagli adulti e in certi casi dagli stessi insegnanti.[10] I bambini avrebbero una naturale inclinazione alla pratica chimica: "Which child does not dream of a chemistry kit or of a real chemist's classroom visit? Who never tried, in the secrecy provided by temporary parental absence, to mix food or household chemicals in order to transform them, sometimes even harboring the secret desire to see them 'blow up'?" 10 Viceversa se chiediamo a un adulto che cosa pensa della chimica, le risposte più frequenti sono: "L'ho sempre odiata!" oppure "Non l'ho mai capita." Questo atteggiamento contrastante tra adulti e bambini è una componente che ha contribuito, e continua a contribuire, alla generale disaffezione alla disciplina chimica, anche a livello scolastico. Secondo uno studio condotto da Eastes, nelle scuole anglosassoni, primarie e secondarie, l'immagine della chimica è legata al forte disequilibrio tra piacere della pratica sperimentale e difficoltà dell'insegnamento formale. 10 La scienza insegnata nelle scuole, come afferma lo studioso David Knight, è in generale difficile e dogmatica, e la chimica è certamente poco eccitante, soprattutto oggi dove tutto deve essere fatto senza sporcarsi e rispettando le norme di sicurezza. "Chemistry is not very

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

excitingly taught in these days of 'health and safety' legislation. Such manual skills as boring corks, bending glass, and handling concentrated acids, the experience of smelling and tasting (on purpose or by accident) unpleasant gases and fluids, and making flashes and bangs are denied to children today. So ways are needed to arouse enthusiasm and direct curiosity, so that some will become chemists, hands-on people, and others sympathetic, hands-off adults."[11] Come si possono interessare i ragazzini, se non possono sporcarsi, e se tutto è "diventato" pericoloso? L'uso dei sensi, che è fondamentale nella crescita dei più piccoli, si concilia perfettamente con l'insegnamento della chimica, che prima di tutto è "sperimentare" con tutti i mezzi, con le mani, il naso e gli occhi. Questo è un aspetto da tener presente anche nell'analisi dell'impatto dei musei di chimica sul pubblico e sui bambini in particolare.

Prima di passare a vedere come la chimica viene presentata nei musei scientifici, vale la pena soffermarsi anche sull'immagine che i chimici hanno della chimica e di se stessi. Questo aspetto è piuttosto importante dal momento che la maggior parte dei curatori e dei responsabili dei musei di chimica sono chimici di formazione, spesso chimici accademici. L'immagine che i chimici hanno di sé è stata ampiamente analizzata dallo storico della scienza Pierre Laszlo, che scrive: "*Chemists see themselves as creative, as benefactors of humankind, and as craftsmen upholding a tradition of intelligent hands and preserving, even in the time of Big Science, a relatively low-tech profile.*" L'immagine che il pubblico ha dei chimici è quindi in forte disaccordo con quella che gli stessi chimici hanno di sé. "*The stereotypical public image as the sorcerer's apprentices who befoul the environment and who manufacture chemical weapons is way off target. Chemists find it a caricature, it only reinforces the good conscience within the chemical community.*"[12] Rispondere alla paura e alla disaffezione che le persone hanno nei confronti della "chimica" è diventato quindi un punto irrinunciabile nell'agenda dei chimici e delle società chimiche. Lo si evince dal numero e dalla qualità delle iniziative nate negli ultimi anni nell'ambito della IUPAC, con il *Committee on Chemistry Education* (CCE), e delle diverse società chimiche nazionali.[13] Uno degli obiettivi è senza dubbio migliorare l'immagine della chimica nel mondo, ma l'obiettivo immediato si rivolge proprio ai chimici e agli insegnanti di chimica: sono loro, secondo Peter Mahaffy,[14] il presidente del CCE, che devono essere preparati a relazionare con i diversi pubblici (Figura 2), attraverso vari mezzi di comunicazione, e con le istituzioni, a divulgare la chimica e a spiegare in che modo la chimica entra nella vita di ogni giorno. "*It must be recognized that we are ultimately collectively responsible for the esteem in which our profession is held by the public. [...] Scientist have an important part to play. [...] The public has a very traditional image of chemistry. Hence, there is a need to show people that it is a central science.*"[15] La consapevolezza del ruolo primario dei chimici nel risollevarne l'immagine della chimica è diventato un obiettivo importante anche per la stessa Società Chimica Italiana: "*La Chimica in Italia, e con essa la Società Chimica Italiana, deve essere mossa da una spinta virtuosa: lavorare bene per crescere e crescere per lavorare con soddisfazione. Questo deve avvenire all'interno della società italiana ma in un contesto europeo e internazionale, imparando a comunicare con la società civile, con un linguaggio, ripeto, a tutti comprensibile, spiegando che la chimica è sempre nel nostro quotidiano*".[16]

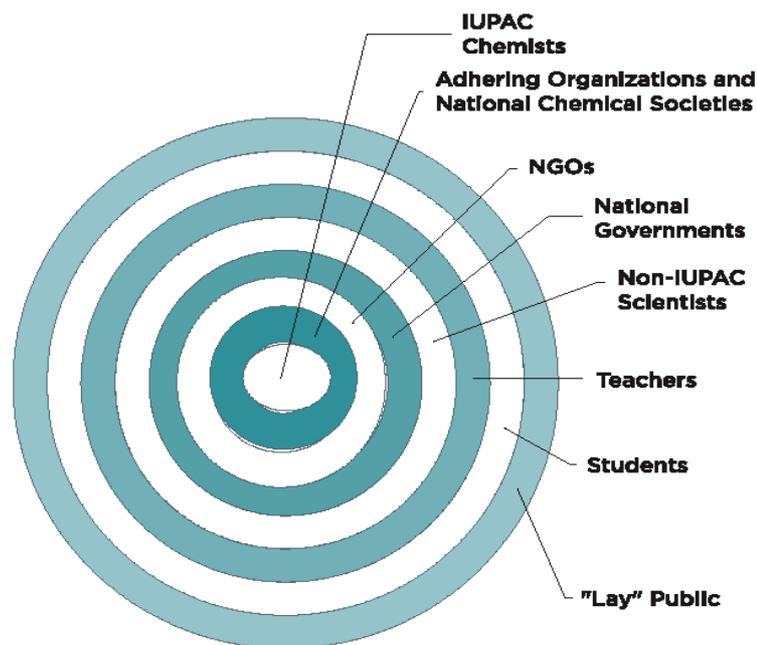


Figura 2: I chimici e i diversi pubblici. (da Chemistry International, July-August 2006, pp.15)

In questo contesto, i musei scientifici e di chimica in particolare rappresentano un luogo privilegiato, per il loro rapporto con la scuola e con il mondo dell'educazione e per le caratteristiche intrinseche del tipo di comunicazione che viene fatta nei musei. Sia in Italia che all'estero queste potenzialità, purtroppo, non sono state ancora sfruttate adeguatamente ed è auspicabile che una maggiore attenzione venga rivolta in futuro verso queste realtà, a partire dalla stessa comunità dei chimici.

I musei di chimica nel panorama internazionale

In un piccolo paese del Cheshire, in Gran Bretagna, si trova uno dei musei della chimica meglio riusciti che si conosca: Catalyst[17] (Figura 3). La scelta del luogo non è casuale. Widnes, questo è il nome della cittadina, si trova al centro di una zona dove la moderna industria chimica inglese si è sviluppata a partire dalla seconda metà del diciannovesimo secolo. Tutto l'ambiente circostante il Museo ricorda chiaramente l'intensa attività chimica, dai sobborghi di Sant'Helens alle rive del fiume Mersey, dove l'industria del sapone ha rappresentato per decenni la principale attività industriale. Anche l'edificio che ospita il museo, una struttura del 1860, ricorda molto questo glorioso passato.[18] L'idea di un museo celebrativo dell'industria chimica, ma anche attento ai più moderni aspetti dell'attività museale sui temi della scienza, è nata nel 1983 all'interno della Society of Chemical Industry. Uno dei principi del museo, visitato da oltre 40 mila visitatori ogni anno, è riassunto nelle parole del suo direttore, Christine Allison: *"Catalyst is a place where science fuses with fun, and of course, chemistry is most fun when it is hands-on."* Più di 100 exhibit interattivi, raggruppati per argomento, animano le visite di grandi e piccoli, toccando non solo aspetti basilari di questa disciplina, ma anche le relazioni che la chimica ha con la società e con la vita quotidiana. *Scientific, Ecoquest, Enviform* sono solo alcuni dei nomi bizzarri delle aree tematiche esplorate all'interno di Catalyst. In ogni sala o esposizione, il multimediale ha un ruolo importante, con proiezioni di filmati, attività al computer e schermi interattivi. Per realizzare tutto questo l'aspetto economico non è trascurabile: è grazie ai cospicui fondi di diverse industrie chimiche, che si aggiungono alle entrate dello stesso museo (biglietti, visite guidate, attività per le scuole...), che Catalyst continua a rinnovarsi con programmi sempre d'avanguardia. Una delle prerogative del futuro di Catalyst è quello di sviluppare una nuova percezione della chimica nei suoi visitatori, tracciando tutte le relazioni, con risvolti sia positivi che negativi, della chimica con il resto mondo. *"Catalyst is playing an important role in challenging people's perceptions of the chemical industry, in opening their eyes to the vital role the the industry plays and how different and difficult their lives would be without the products that are so often taken for granted. Catalyst provides a superb communication platform for industry and a center of excellence for education."* [18]

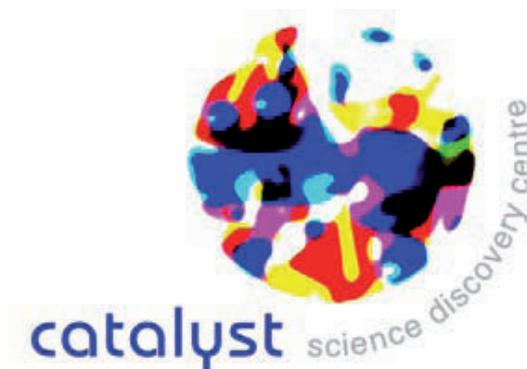


Figura 3: Logo di Catalyst. (da <http://www.catalyst.org.uk>)

Il caso di Catalyst rimane però piuttosto isolato. Eccetto alcuni esempi di musei della chimica più tradizionali in continente europeo, non si conoscono musei hands-on dedicati interamente alla chimica, eccetto Catalyst. Anche negli Stati Uniti, terreno florido per l'attività museale, non esiste un solo museo di chimica.[19]

E in Europa? La maggior parte dei musei dedicati alla chimica si trova all'interno di dipartimenti di chimica delle diverse università, che quindi gestiscono sia la manutenzione delle collezioni e sia le attività verso l'esterno. Questi musei si presentano per lo più come musei conservativi, storici o dedicati a personaggi di rilievo nella storia della chimica.[20] La tipologia di questi musei è molto diversa dai musei interattivi, di conseguenza anche i pubblici a cui si rivolgono sono diversi: adulti o studenti universitari, cultori della materia e interessati alla storia della scienza. L'importanza di musei come questi è comunque innegabile, perché grazie a quello che è possibile scovare qui dentro la memoria storica della scienza chimica viene conservata e resa disponibile alle nuove generazioni. Tuttavia, l'impatto di questi musei sul pubblico è necessariamente contenuto, soprattutto per il numero dei visitatori, che non raggiunge mai quello dei musei interattivi.

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

Se guardiamo ai moderni musei della scienza e agli science centre la chimica è la scienza meno rappresentata. Uno dei motivi, secondo Silberman, che lavora presso lo science centre di Ithaca, vicino a New York, consiste nel continuo monitoraggio che gli exhibit di chimica richiedono, soprattutto per garantire la salvaguardia dei visitatori per l'uso di reagenti chimici.[21] In generale, i prodotti chimici da usare non solo devono essere non infiammabili, non corrosivi e non tossici, ma anche gli oggetti da maneggiare devono essere assolutamente innocui. Questo vuol dire: niente vetreria, niente piastre scaldanti, e ovviamente niente fiamme libere. Questo è un enorme limite, perché significa ridurre il numero delle reazioni da poter "esibire". Tuttavia, grazie al lavoro di molti educatori e appassionati di chimica, si conoscono numerosi esperimenti non pericolosi e di facile realizzazione. *"The pages of Journal of Chemistry Education are filled with fascinating chemistry experiments and demonstrations that can be safely carried out with little cleanup and disposal."* [22] E' vero anche che, quando i visitatori sono dei bambini, gli accorgimenti di cui tener conto sono ben altri. Può succedere infatti che un exhibit debba essere completamente rivisto dopo aver fatto qualche test pratico con gruppi di visitatori campione. Come racconta Silberman, le pipette, usate per aggiungere una sostanza goccia a goccia e apparentemente innocue, possono diventare "armi" per spruzzare le sostanze direttamente sui compagni. Quindi devono essere sostituite con qualcos'altro! Come per le altre discipline, anche nel caso della chimica, gli exhibit devono essere provati prima di essere esposti in un museo e questo implica spendere tempo e denaro. Avere a disposizione dei progetti nazionali o internazionali può rappresentare l'unica chance per i musei medio-piccoli.

Un caso molto significativo è rappresentato da **CHEMistry for Life** (Figura 4), un progetto europeo per la chimica nei musei scientifici. Questo importante progetto è nato nel 1993 a Copenhagen, durante una riunione dell'European Collaborative for Science, Industry and Technology Exhibitions ([ECSITE](http://www.ecsite.org)). In questa sede rappresentanti dell'industria chimica e dei maggiori musei della scienza europei si confrontarono su un tema piuttosto caldo, soprattutto per i colossi della chimica: come è possibile promuovere la chimica nell'opinione pubblica e come superare la barriera invisibile che sembra essere alla base della paura e della sfiducia che le persone hanno nei confronti di questa disciplina? I musei della scienza sembravano i luoghi naturali dove iniziare questa lenta "conversione" per una serie di motivi. *"It is the independence of these institutions and their fundamentally educational mission to explain and communicate technology and natural science as outstanding cultural achievements which make them such an excellent setting for this task."*[23] Il forte legame tra gli science museum e le scuole era un ulteriore elemento incoraggiante. Fu così che nell'autunno 1994 si riunirono a Monaco i rappresentanti di 15 musei della scienza per capire come poter rendere la chimica più attraente senza denaturalarla. Si è trattato, spiega Ulrich Kernbach, responsabile di **CHEMforLife**, del primo grande progetto dove industrie e istituti museali hanno collaborato per raggiungere un obiettivo comune. I primi, sotto l'European Chemical Industry Council ([CEFIC](http://www.cefic.org)), e i secondi, sotto ECSITE, hanno lavorato insieme per un progetto da oltre 2 milioni di euro. *Chemistry for life* aveva come obiettivo generale quello di incoraggiare i cittadini europei a un approccio più responsabile nei confronti della scienza chimica, basato non solo su un aumento della conoscenza e della comprensione della chimica, ma soprattutto sulla consapevolezza del legame tra chimica, società e vita quotidiana. A questo obiettivo di lunga scadenza, che rappresenta piuttosto una linea di tendenza, vanno aggiunti gli obiettivi concreti.



Figura 4: Logo di Chemistry for Life. (da <http://www.chemforlife.org>)

Un modo per cambiare l'approccio delle persone verso la chimica è quello di partire proprio dagli *Science Centre*, rinnovando le sezioni dedicate a questa scienza, aggiungendo parti interattive, dimostrazioni ed esperimenti. L'idea contenuta nel progetto CHEMforLife era quella di rinnovare queste parti, progettando e realizzando cose totalmente nuove, in modo che fossero divertenti ed educative allo stesso tempo. I musei partecipanti dovevano presentare dei progetti dettagliati (sotto forma di *proposal*) per nuove installazioni museali. Una rosa ristretta di esperti ha valutato la realizzabilità e scelto di conseguenza circa cinquanta progetti. Ogni museo doveva a questo punto realizzare il prototipo del prodotto scelto dagli esperti. Tutto questo ha avuto varie scadenze intermedie, come racconta Ulrich Kernbach, importanti per verificare le difficoltà e i costi della realizzazione. *"Il progetto prevedeva di poter scegliere tra vari prodotti: exhibit, laboratori o workshop, prodotti multimediali e dimostrazioni. Ogni museo poteva scegliere in base alle proprie esperienze cosa realizzare"*. [24] I costi dello sviluppo e della produzione dei prototipi sono stati coperti per lo più dal contributo delle industrie, dal momento che costruire prototipi di exhibit, ad esempio, è estremamente costoso per un singolo museo. La scadenza del progetto è stata l'estate del 2000, ma già nel 1998 sul sito web www.chemforlife.com era possibile avere un'idea dei diversi prodotti grazie a brevi filmati e schede riassuntive. *"Il sito è ancora visitabile, anche se l'ultimo aggiornamento risale al 2001. Lo scopo è quello di rendere pubblico il lavoro*

svolto a tutti coloro che si interessano di musei e che sono interessati ad allargare o rinnovare la sezione dedicata alla chimica".[24] Una delle innovazioni riguarda anche le aree tematiche in cui suddividere i vari prodotti. Sono stati individuati otto temi, chiamati temi globali, e caratterizzati ognuno da uno slogan:

*You are chemistry!
... and the rest of the universe, too!
Chemistry invents new matter à la carte!
In chemistry there are no copies of molecules, only identical originals!
Chemistry provides solutions to its own problems!
There are no toxic substances, only toxic doses!
Beethoven, Dante, Velasquez, Lavoisier...!
Not even chemists are perfect!*

L'impatto emotivo è decisamente diverso in questa nuova suddivisione rispetto a quella classica, dove figurano chimica organica, inorganica e ingegneria chimica. Il richiamo ad altre discipline, come la storia, e a concetti vicini alla sfera dell'emotività sono stati il filo conduttore di tutto il progetto. "Chemistry for life è stato realizzato con buon successo, anche se i risultati sono stati in parte diversi dalle aspettative. I risultati concreti sono stati significativi e utili, anche per lo stesso ECSITE, anche se ci sono stati alcuni problemi." [24] Secondo Kernbach, che è tuttora responsabile dei progetti internazionali del Deutsche Museum di Monaco, i problemi alla base di questo grande progetto risiedono nella diverse aspettative del mondo museale rispetto alle industrie. "L'obiettivo dei musei era quello di produrre exhibit veramente interattivi, dove il visitatore si sentisse coinvolto attivamente ed emotivamente, realizzare un prodotto veramente utile all'attività del museo. Dall'altra parte, invece, l'interesse principale era quello di avere dei prodotti fruibili, da poter vendere a prezzi non elevati, per rilanciare l'immagine della chimica. L'idea era quella di realizzare prodotti da distribuire su grande scala, a scuole, istituti, industrie, ecc... Di fatto però gli exhibit non sono oggetti a basso costo! Lo sviluppo di nuovi exhibit interattivi riguardanti la chimica è molto più complesso e costoso rispetto ad altre discipline." [24]

Le diverse aspettative di questi due mondi, i musei e l'industria, si sono riflesse sui risultati del progetto stesso. Tuttavia secondo Kernbach, ci sono anche delle difficoltà più profonde, emerse proprio grazie a CHEMforLife. La chimica è una scienza che si presta molto bene nelle attività di laboratorio, come i laboratori per bambini, che rappresentano una componente significativa dell'attività di molti musei. Anche le dimostrazioni e gli workshop riescono piuttosto bene. Diverso è il caso degli exhibit: proprio perché la chimica si basa sulle reazioni chimiche, che in linea generale non sono facili da visualizzare, è molto difficile realizzare un exhibit sulla chimica che funzioni davvero. "Dei 30 prototipi di exhibit realizzati grazie a CHEMforLife, una decina sono mediamente buoni, solo cinque sono ottimi, e hanno riscosso un grande successo tra i visitatori. La maggior parte, però, non ha superato la fase del prototipo, o perché realizzare delle copie era veramente complicato o perché i costi erano assolutamente troppo elevati (oltre 60 mila euro per ogni replica!). Diverso è stato per i prodotti multimediali e per gli show, che sono stati richiesti da moltissimi insegnanti e da musei di piccole e medie dimensioni." [24]

Una mappa dei musei di chimica in Italia

Nonostante esista una letteratura piuttosto ampia sui musei e sulle raccolte scientifiche italiane, nessuno ha mai analizzato, verificato e raccolto in un unico catalogo quelle riguardanti la chimica. Per questo motivo, la ricerca delle informazioni è stata una parte molto importante di questa ricerca.

Le fonti iniziali sono state soprattutto i testi dedicati alla catalogazione dei musei scientifici italiani. Tra questi, i più importanti sono stati: *I musei scientifici in Italia* (Franco Angeli ed., 2002) di Emanuela Reale, e *I luoghi della Scienza. Guida ai musei e alle raccolte scientifiche italiane* (Renzo ed., 2005) di Massimo Bozzo. A questa ricerca su carta è seguita una seconda fase, di verifica delle informazioni, in cui l'utilizzo dei motori di ricerca disponibili in rete, come Google, è stato di fondamentale importanza. I siti web più utili a questo scopo sono stati:

- 1) il sito del Ministero dell'innovazione, della ricerca e dell'università, in particolare:
CRUI: <http://www1.crui.it/musei/mainmenu.asp?Scelta=Musei>;
- 2) il sito della Regione Toscana: www.cultura.regionetoscana.it;
- 3) il sito dei musei e delle collezioni delle scuole superiori nel mezzogiorno, Muse@lia:
http://www.unisob.na.it/musealia/tem_tecno.asp.

Molti musei e collezioni scientifiche sono catalogate in vari data-base, ma spesso questi cataloghi on-line non sono aggiornati, soprattutto per quel che riguarda i contenuti delle collezioni. Il supporto del web è stato decisivo anche per rintracciare le home page, là dove esistono, dei musei e delle collezioni, o semplicemente per verificare gli indirizzi e-mail e i numeri di telefono da contattare. Infine, proprio attraverso il contatto e-mail oppure telefonico, ho potuto verificare l'esistenza "fisica", e non solo "virtuale", delle collezioni. Da questo tipo di lavoro è stato possibile stilare un

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

elenco delle collezioni di chimica e dei musei di chimica, ma anche delle collezioni scientifiche e dei musei scientifici con sezioni permanenti dedicate alla chimica, esistenti in Italia. È da notare che in questa lista non compaiono musei dedicati ai materiali, come il museo della plastica o il museo del legno, e neanche i musei legati all'ambito farmaceutico, per una scelta iniziale. I musei e le collezioni di chimica individuate, e verificate, sono ventuno, e sono elencate di seguito con l'indirizzo della sede e, là dove esiste, l'indirizzo web:

1. **Museo di Chimica di Genova**, viale Benedetto XV 3, 16132 - Genova (www.chimica.unige.it/museo/index.htm).
2. **Museo di Chimica di Roma**, Dipartimento di Chimica, Università "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro 5, 00185 - Roma (www.chem.uniroma1.it/museo/home.htm).
3. **Museo di Chimica "Giacomo Ciamician" di Bologna**, Dipartimento di Chimica, via Selmi 2, 40126 - Bologna.
4. **Museo di Chimica dei Dipartimenti di Chimica di Palermo**, viale delle Scienze, Parco D'Orleans II - Padiglione 17, 90128 - Palermo (<http://www.unipa.it/~cheminor/>).
5. **Museo di Chimica Agraria di Portici "Carlo La Rotonda"**, via Università 100, 80055 - Portici, Napoli.
6. **Collezioni di Chimica di Pavia**, Dipartimento di Chimica Fisica, via Taramelli 16, 27100 - Pavia (<http://ppp.unipv.it/musei/pagine/DipChim/dipchim.htm>).
7. **Collezione storica del dipartimento di Chimica (Bari)**, via Orabona 4, 70126 - Bari.
8. **Collezione storica dell'Università di Ferrara**, via Corsari 46, 44100 - Ferrara.
9. **Collezione di strumenti di chimica dell'Università di Siena**, ora presso il CUTVAP di Siena, Centro Universitario per la Tutela e la Valorizzazione dell'Antico Patrimonio scientifico senese, Polo Scientifico San Miniato, via A. Moro, San Miniato 53100 - Siena (www.cutvap.unisi.it e www.passus.it).
10. **Collezione di vetrerie scientifiche del CUTVAP di Siena**, come sopra.
11. **Collezione scientifica e tecnologica per la didattica**, dell'ITI Leonardo da Vinci di Firenze, Istituto Tecnico Industriale e Istituto Professionale per l'Industria e per l'Artigianato, via del Terzolle 91, 50127 - Firenze (<http://leonardodavinci.csa.fi.it/centenario/museo/index.htm>).
12. **Collezione storico - scientifica di fisica e scienze naturali** del Liceo "Mamiani", viale delle Milizie 30, 00132 - Roma (<http://www.liceomamiani.it/museo.htm>).
13. **Collezione del Liceo Manara**, via Basilio Bricci 6, 00152 - Roma.
14. **Collezioni scientifiche del Liceo Prati**, Liceo classico Giovanni Prati, via SS. Trinità 38, 38100 - Trento (<http://www.liceoprati.it>).
15. **Collezioni dell'Istituto tecnico scientifico statale "Buzzi" di Prato**, viale della Repubblica 9, Prato (<http://www.itistulliobuzzi.it/museo/home.htm>).
16. **Collezioni scientifiche del Liceo Scientifico F. Lussana**, via A. Maj 1, 24100 - Bergamo.
17. **Archivio Scientifico e Tecnologico (Università di Torino)**, via Accademia delle scienze 5, 10123 - Torino.
18. **Museo Archivio del Politecnico di Torino**, Centro Museo e Documentazione Storica, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 - Torino; Centro operativo, via Cavalli 22/H (<http://www2.polito.it/strutture/cemed/001/Index2.htm>).
19. **Museo del Politecnico di Milano**, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 - Milano (<http://www.cesa.polimi.it>).
20. **Museo "Anton Maria Traversi" del Liceo Foscarini**, Cannaregio 4249, 30131 - Venezia (<http://www.liceofoscarini.it/index.shtml>).
21. **Museo Scientifico "G. Garibaldi" (Palermo)**, via C. Rotolo 2, Palermo (<http://www.museoscientifico.com/index.htm>).

Una prima catalogazione si basa sull'ente di appartenenza e sulla tipologia, come riassunto nelle *Tablelle 1 e 2*. Tredici dei ventuno musei sono universitari. In particolare, ci sono cinque "Musei di Chimica" universitari, una "Collezione di chimica" e due "Collezioni Storiche" dedicate interamente alla chimica che si trovano all'interno di Dipartimenti di Chimica. Inoltre ci sono due collezioni dedicate alla chimica, una agli strumenti e una alla vetreria, che fanno parte di un centro universitario. Ci sono inoltre tre istituti museali universitari, l'Archivio Scientifico e Tecnologico dell'Università di Torino, il Museo Archivio del Politecnico di Torino e il Museo del Politecnico di Milano, che contengono sezioni scientifiche divise per varie aree e una sezione dedicata alla chimica. Otto delle ventuno istituzioni individuate sono legate invece a delle scuole secondarie superiori: si tratta di "Collezioni scientifiche" e "Musei scientifici" che contengono sezioni dedicate alla chimica ma non solo (generalmente contengono anche raccolte di strumenti scientifici, sia fisici che chimici). Di queste otto, due appartengono a istituti tecnici e sei a licei scientifici e/o classici (si veda *Tabella 2*).

Per comprendere e analizzare al meglio gli aspetti formali, organizzativi e i contenuti dei musei ho raccolto diverse informazioni seguendo una griglia di osservazione e compilando delle schede minime. Nella maggior parte dei casi è stato grazie al contatto diretto con i curatori o con i responsabili delle collezioni (telefonico o/e via e-mail), che ho potuto raccogliere informazioni da integrare a quelle già disponibili sul web o sulle fonti scritte. In alcuni casi, la disponibilità dei curatori è stata elevata e ho ricevuto materiale cartaceo, come depliant e cataloghi degli oggetti presenti in collezione, materiale fotografico e CD rom.[25]

Tab. 1: Musei e Collezioni universitarie	
Musei Universitari	Collezioni Universitarie
Museo di Chimica di Genova	Collezioni di Chimica di Pavia
Museo di Chimica di Roma	Collezione storica del dipartimento di Chimica di Bari
Museo di Chimica "Giacomo Ciamician" di Bologna	Collezione storica dell'Università di Ferrara
Museo di Chimica dei Dipartimenti di Chimica di Palermo	Collezione di strumenti scientifici dell'Università di Siena (CUTVAP)
Museo di Chimica Agraria di Portici "Carlo La Rotonda"	Collezione di vetrerie scientifiche del CUTVAP di Siena
Archivio Scientifico e Tecnologico dell'Università di Torino.	
Museo Archivio del Politecnico di Torino	
Museo del Politecnico di Milano	

Tab. 2: Musei e Collezioni di scuole secondarie	
Licei	Istituti tecnici
Collezione storico - scientifica di fisica e scienze naturali del Liceo Mamiani (Roma)	Collezione scientifica e tecnologica per la didattica dell' ITI Leonardo da Vinci (Firenze)
Collezione del Liceo Manara (Roma)	Collezioni dell'Istituto tecnico "Rondani" (Parma)
Collezioni scientifiche del Liceo Prati (Trento)	
Collezioni scientifiche del Liceo Lussana (Bergamo)	
Museo "Anton Maria Traversi" del Liceo Foscarini (Venezia)	
Museo Scientifico "G. Garibaldi" (Palermo)	

Per raccogliere informazioni esistono varie procedure. Quella usata in questa ricerca si basa sulla compilazione di una serie di campi, divisi per argomento, con diverse voci, anche molto specifiche, seguendo una griglia di osservazione, detta anche scheda minima. Il modello di scheda minima usato in questo lavoro è suddiviso in 4 campi principali: "carta d'identità", "struttura", "contenuti" e "rapporto con il pubblico". Le voci riempite sono riportate schematicamente in *Tabella 3*.

Tab. 3: Scheda minima di osservazione:
1. Carta d'identità: nome, indirizzo, recapito telefonico e fax, eventuale sito web, direttore/curatore/responsabile, indirizzo e-mail, il museo è aperto / chiuso al pubblico, orario di apertura, costo, ente di appartenenza (tra: Stato/Regione/Provincia/Comune/Università/altro ente (indicare)/privato), anno di fondazione, il museo non deve / deve sostenersi economicamente.
2. Struttura: metri quadri totali, di questi, metri quadri adibiti a spazi espositivi aperti al pubblico, numero di stanze, il museo dispone di una biblioteca, il museo non ha / ha personale retribuito, persone che si occupano del museo (numero).
3. Contenuti: Breve riassunto dei contenuti, stima del numero di bacheche, stima del numero di strumenti, presenza di prodotti chimici (un ordine di grandezza), presenza di una collezione storica, presenza di collezioni private, presenza di spazi interattivi, presenza di esperienze di laboratorio per i visitatori, presenza di pannelli esplicativi e di spiegazioni e/o didascalie degli oggetti, presenza di un catalogo, presenza di materiale divulgativo (depliant, brochure...), indicare se prevale la componente oggettivistica o il materiale cartaceo.
4. Rapporto con l'esterno e/o con il pubblico: il museo svolge attività didattica? (se sì, indicare cosa propone), il museo organizza iniziative, mostre ed eventi? (se sì, indicare), quale è il numero di visitatori medio? (una stima mensile o annuale).

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

L'obiettivo principale di questa fase del lavoro era farsi un'idea piuttosto dettagliata dei quattro campi sopra riportati per ogni museo o collezione, non potendo, per motivi logistici, visitarli di persona tutti. Tuttavia, in alcuni casi, raccogliere informazioni non è stato facile, soprattutto per la difficoltà di ottenere una qualsiasi risposta da parte di alcuni dei curatori. Per questo motivo, per otto dei ventuno musei contattati le schede minime sono state riempite solo parzialmente.[26]

Dai dati raccolti con le schede minime emergono diversi aspetti interessanti che ho raggruppato di seguito per argomenti, in accordo con la suddivisione fatta per le schede minime.

Enti di appartenenza, fondi e personale

Come detto in precedenza, la maggior parte dei musei e delle collezioni si appoggiano a strutture pubbliche, universitarie o afferenti a scuole e istituti superiori (13 contro 8). Nessuno tra questi è comunale, provinciale o regionale, né tanto meno privato. Nonostante ci sia uno stretto legame con le strutture pubbliche, e quindi con il Ministero della pubblica istruzione o con il Ministero dell'innovazione, la ricerca e l'università, la maggior parte dei curatori (17 su 21) ha dichiarato di dover far fronte alle spese di manutenzione e di rinnovo della struttura museale, utilizzando fondi non dedicati al museo. Viceversa, in quattro casi il museo gode di un finanziamento del MIUR specifico per l'allestimento e per la manutenzione della collezione museale. Eccetto questi quattro casi, i musei e le collezioni sopravvivono grazie ai fondi destinati genericamente alla scuola o al dipartimento. Di conseguenza sono pochi i musei ad avere personale stipendiato. Solo sei delle strutture contattate risultano avere personale pagato per lavorare nell'ambito museale, come curatori o responsabili. In particolare si tratta di tre strutture universitarie e tre scuole secondarie superiori. Sia nell'ambito universitario che nelle scuole superiori sono gli stessi docenti (in 18 casi su 21) ad avere la responsabilità delle esposizioni e delle eventuali attività svolte dal museo. In certi casi, i docenti sono aiutati da studenti e dottorandi (nel caso dei musei universitari), come nella Collezione di chimica dell'Università di Pavia, dove ogni anno c'è un volontario del servizio civile che si occupa della manutenzione e delle attività collegate alla collezione stessa. Come dato assoluto, il numero massimo di persone che si occupano contemporaneamente del museo (stipendiate e non) non superano le cinque unità.

La questione relativa all'apertura al pubblico generico delle sale espositive ha messo in evidenza diversi scenari: per i musei all'interno delle scuole superiori, l'apertura al pubblico è quasi sempre garantita (6 su 8), secondo gli orari scolastici, e quindi essenzialmente nei giorni dal lunedì al venerdì (*Figura 5*). Nel caso dei musei universitari l'apertura al pubblico è molto più limitata: in alcuni casi (5 su 13) il museo è aperto solo su appuntamento, in altri è aperto e regolamentato da un orario fisso (5 su 13), negli altri casi il museo è in fase di allestimento oppure non è prevista, almeno per ora, l'apertura al pubblico.

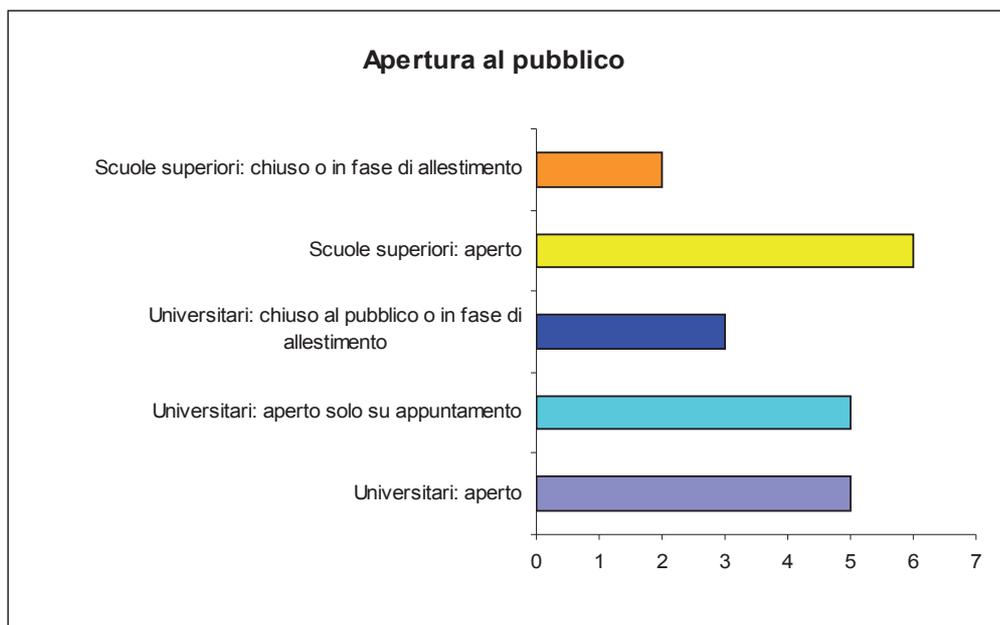


Figura 5: Apertura al pubblico dei musei e delle collezioni di chimica, suddivisi tra musei universitari e afferenti alle scuole superiori.

Tra i dati raccolti, c'è da notare che nella maggior parte dei casi i musei e le collezioni sono di recente istituzione (*Figura 6*). Due musei sono stati aperti quest'anno (nel 2006); due musei sono in allestimento e di prossima apertura; due sono stati fondati nel decennio 1980-1989; sette nel decennio 1990-1999 e tre tra il 2000 e il 2005. Dei rimanenti musei il dato non è pervenuto. Tuttavia, pur essendo stati formalmente istituiti in tempi recenti, tutti questi musei hanno un carattere prevalentemente storico e conservativo.

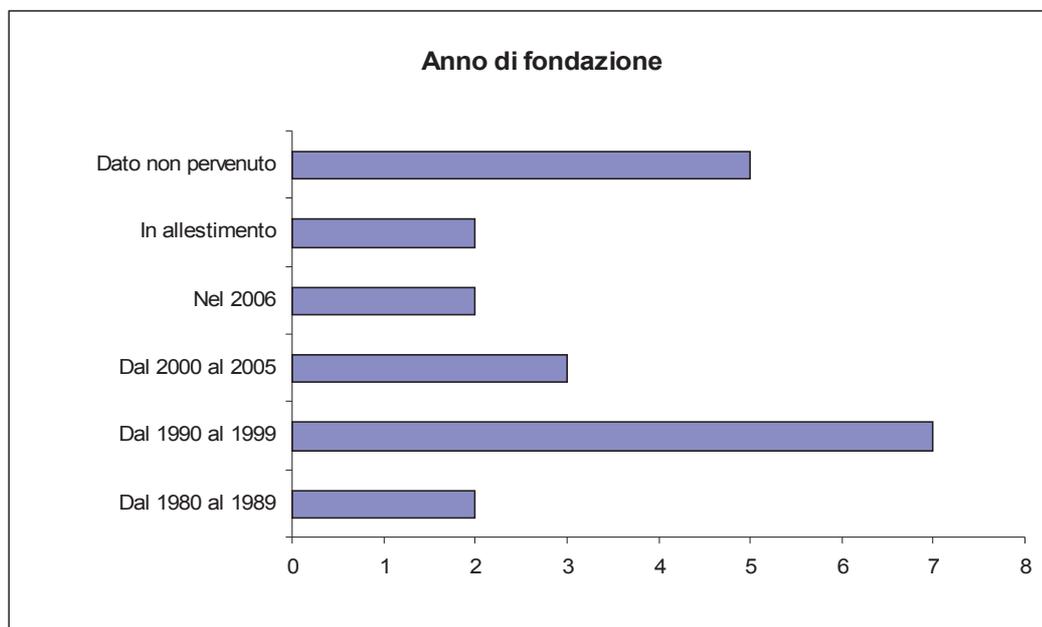


Figura 6: Anno di fondazione dei musei e delle collezioni di chimica.

Struttura e spazi

Spesso le collezioni e i musei si trovano all'interno di una struttura più ampia. Per i musei universitari, in 8 casi su 13, la struttura è il Dipartimento di chimica. Negli altri 5 casi, le collezioni universitarie si trovano in un centro distaccato dai dipartimenti, come il caso dei musei di Milano, Torino e Siena. Spesso però (in 6 casi su 13) le collezioni sono sparse per i corridoi e non esiste uno spazio chiuso ben identificabile come museo o collezione. In due casi non è stata data alcuna informazione sullo spazio adibito a museo, mentre in cinque casi è stata indicata una metratura precisa. Tuttavia, secondo i dati raccolti, gli spazi dedicati alle collezioni e ai musei non superano i 300 metri (è il caso del Museo di Chimica di Genova e di Roma). Tra i musei e le collezioni universitarie, 7 su 13 possiedono una biblioteca o un archivio storico con documenti cartacei. Passando invece alle scuole secondarie superiori, in 3 casi su 8 non è stata data nessuna indicazione sulla struttura del museo, mentre nei casi rimanenti gli spazi vanno da poche stanze dedicate interamente alla collezione, come per il Museo del Liceo "Foscarini" di Venezia, a qualche decina di metri quadrati, dove si trovano bacheche e oggetti esposti, come nel caso della collezione dell'ITI "da Vinci" di Firenze. In sei casi su otto esiste una biblioteca storica.

Visitatori e attività verso l'esterno

Già dai dati presentati fin qui non è difficile farsi un'idea del numero dei visitatori, anche se nella maggior parte dei casi (18 su 21) non è stato indicato neanche un ordine di grandezza. Là dove esiste una stima del numero di visitatori, perché è disponibile un registro degli ingressi, non si superano i 4000 visitatori annui (è il caso del Museo di Roma). Si tratta di un numero molto piccolo se si confronta con il numero di visitatori dei musei della scienza o degli science center (ad es. il Museo del Bali ha circa 40 mila visitatori l'anno). Sulla tipologia dei visitatori, in 10 casi su 21, i curatori hanno risposto che i visitatori sono per lo più studenti delle scuole superiori e / o universitari. Negli altri casi non è stata data alcuna indicazione. Il pubblico non è quindi generico, ma piuttosto specifico, calibrato su una fascia d'età che va dai 15 ai 30 anni, e mediamente colto. Questo aspetto si collega anche con la tipologia di attività svolte dai musei di chimica (*Figura 7*). Nei musei delle scuole superiori, l'attività didattica, come ci si potrebbe aspettare, è molto sviluppata. In 5 casi su 8, il museo organizza laboratori per gruppi di visitatori, e, in 7 casi, i curatori hanno identificato nell'attività didattica la principale attività svolta dal museo. In un solo caso si effettuano visite guidate e in due casi, gli istituti superiori organizzano mostre ed eventi aperti a un pubblico più vasto. Diverso è il caso dei musei universitari: solo in tre casi (museo di chimica di Roma, museo di chimica di Genova e museo di chimica di Palermo) sono previste attività

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

rivolte alla didattica, come piccoli esperimenti e dimostrazioni, in aggiunta a visite guidate (5 su 13). Nessuno, eccetto il Museo di chimica di Roma contiene una sezione interattiva, in senso museale. Solo in questo museo, esistono degli exhibit di chimica dove i visitatori sono invitati a toccare con mano e a sperimentare. Delle 21 istituzioni contattate, solo 7 hanno dichiarato di promuovere e organizzare attività rivolte verso l'esterno, come mostre o cicli di conferenze (5 strutture universitarie e 2 scuole superiori). Per lo più queste iniziative si inseriscono all'interno di manifestazioni più ampie, come il Festival della scienza di Genova per il Museo di chimica di Genova, oppure la settimana della cultura scientifica che ogni regione italiana celebra annualmente in periodi diversi. Tuttavia, in alcuni casi, come per la collezione di chimica di Pavia e il museo di chimica di Bologna e il museo di chimica di Roma, i curatori hanno evidenziato l'importanza di organizzare iniziative rivolte all'esterno per promuovere la scienza chimica e per migliorarne l'immagine in un pubblico vasto.

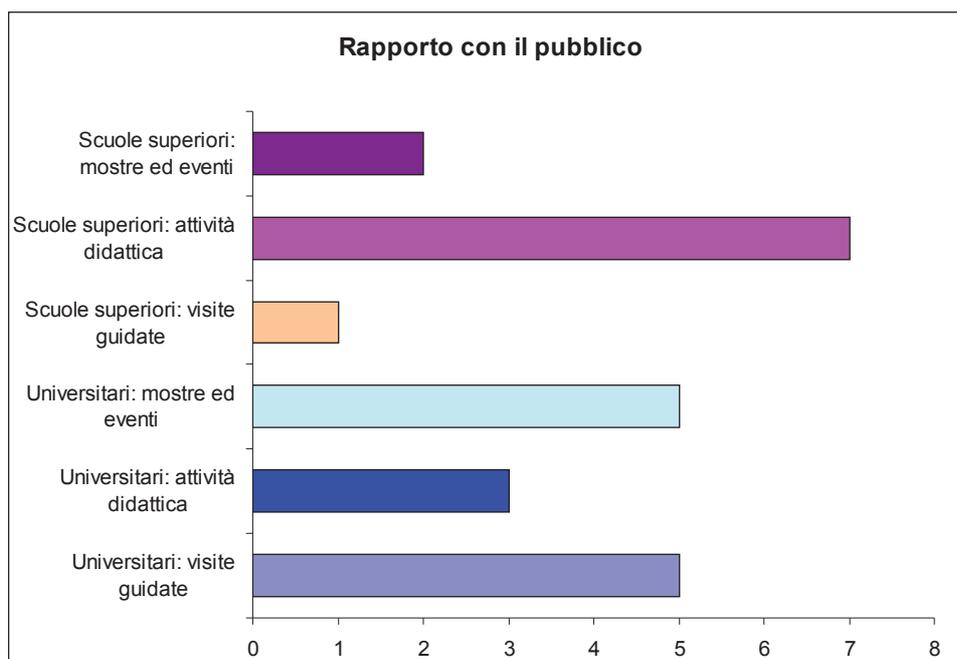


Figura 7: Rapporto con il pubblico e tipo di attività dei musei e delle collezioni di chimica, suddivisi tra musei universitari e afferenti alle scuole superiori.

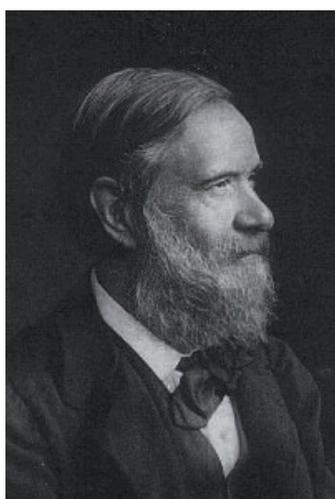


Figura 8: La figura di Stanislao Cannizzaro è sicuramente la più presente nelle collezioni universitarie.

I contenuti

Tutti i musei e le collezioni analizzate sono di tipo conservativo e storico, con l'eccezione del museo di Roma che contiene anche una sezione interattiva. I musei universitari contengono oggetti di vario tipo, come prodotti chimici di sintesi e reagenti originali, strumenti e oggetti che rappresentano l'attività della ricerca in chimica dall'inizio dell'Ottocento alla prima metà del Novecento. Alcune collezioni, come quella dell'università di Palermo, di Genova e di Roma, ruotano attorno alla figura del grande chimico italiano Stanislao Cannizzaro (Figura 8). In questi musei, strumenti di misura e reagentari, ma anche documenti scritti di alto valore storico, sono in bella mostra (Figura 9 e 10). Dove non c'è il segno evidente di un grande personaggio, ci sono comunque tante testimonianze di ricercatori, meno conosciuti forse, ma che hanno contribuito all'evoluzione dei metodi e delle strumentazioni usate per preparare nuovi composti, o semplicemente, per riprodurre in laboratorio le sostanze naturali, o per studiarne le proprietà. L'impressione è che, racchiuso tra queste mura, e visibile solo all'occhio attento dell'amatore (chimico di formazione!), ci sia spesso un grande patrimonio storico oltre che scientifico.



Figura 9: *Strumento per analisi volumetrica presso il CUTVAP di Siena.*



Figura 10: *Prodotti chimici del Professor Wilhelm Körner usati durante la sua attività nel "Gabinetto di Chimica Generale" dell'Università di Palermo (1868-1870). Dal Museo di Chimica di Palermo.*

Questi musei e collezioni testimoniano anche un periodo molto fiorente della ricerca chimica del Novecento, dove negli istituti superiori si preparavano i ragazzi al mestiere del chimico (si veda la Collezione scientifica e tecnologica per la didattica" dell'ITI Leonardo da Vinci a Firenze, e la Collezione storico - scientifica di fisica e scienze naturali del Liceo "Mamiani" a Roma). Non molti tra i musei contattati hanno inventariato il materiale a disposizione dei visitatori (6 su 21) e, nonostante siano quasi tutti dotati di un sito web, più o meno articolato, (si veda tabella 1), solo 5 su 21 hanno materiale cartaceo che illustri i contenuti e le attività del museo (depliant, brochure...). Solo tre tra questi musei hanno un catalogo illustrato (le due collezioni del CUTVAP di Siena e le collezioni scientifiche del Liceo Prati di Trento).

Questi sono solo alcuni dei contenuti delle collezioni più ampie e di maggiore profilo storico:

- Apparecchiature utilizzate per la lavorazione e la caratterizzazione delle terre rare (Genova).
- Tavole didattiche di interesse storico (Genova e CUTVAP).
- Apparecchi per misure su gas (Dumas, ecc.) (Genova).
- Apparecchiature per la misura della radioattività (Roma).
- Le tavole murali di von Schroeder (Roma).
- Tubi di Crookes per l'emissione di raggi catodici, colorimetri, fotometri, galvanometro, pH-metri, rocchetti di induzione elettrica, bilance... (Bologna).
- Prodotti originali di Korner (Palermo).
- Strumenti e oggetti appartenuti a Cannizzaro (Palermo).
- Strumenti della fine del XIX e dell'inizio del XX secolo, realizzati con materiali quali il ferro e la ghisa bruniti, l'ottone, con viti e manopole nichelate, con lenti e prismi di quarzo, sistemati su strutture di supporto di legno di rovere e di castagno, assemblati dalle migliori ditte europee e americane (Portici).
- Pezzi di vetreria da laboratorio comprendente apparecchi e vetreria corrente, databile dalla seconda metà dell'Ottocento agli anni '60 (CUTVAP).
- Bilance: da quelle a cavaliere a quelle con tamburo di smorzamento, sino ad arrivare alle più recenti bilance elettriche (CESA Milano).
- Insieme di prodotti chimici e di vetrerie fatto pervenire al Politecnico nell'ambito degli aiuti del «piano Marshall» (CESA Milano).

Conclusioni

L'oggetto di studio di questo lavoro era rintracciare l'immagine della chimica che emerge dai musei e dalle collezioni di chimica in Italia. A una prima fase di raccolta di informazioni sui musei e sulle collezioni dedicate alla chimica, è seguita una seconda fase, di cui non ho riportato i dettagli per motivi di spazio, basata sull'analisi di interviste semi-strutturate ai curatori e/o responsabili delle collezioni che ne hanno dato disponibilità,[27] con lo scopo di rileggere la realtà dei musei nel quadro generale dell'immagine della chimica. Queste sono le principali conclusioni del lavoro.

La realtà dei musei di chimica in Italia

I musei dedicati interamente e solo alla chimica sono tutti universitari, mentre se si includono i musei e le collezioni con una sessione permanente di chimica troviamo, accanto a realtà universitarie, anche musei che si trovano all'interno di scuole superiori, tecniche e scientifiche. In entrambi i casi, questi musei sono prevalentemente a carattere storico-conservativo. Nonostante si tratti di musei e collezioni di elevato valore storico e scientifico, in quanto testimoni di un periodo storico fiorente per l'attività della chimica sia a livello accademico che industriale nel panorama italiano, colpisce il fatto che la maggior parte di questi musei sia in uno stato di abbandono. Questo non certo a causa delle (poche) persone che, spesso volontariamente, se ne occupano. Il problema maggiore riguarda infatti la mancanza di spazi adeguati, la mancanza di fondi destinati al museo e l'assenza, o il numero esiguo, di personale stipendiato (per l'allestimento, la manutenzione, la comunicazione, la responsabilità delle collezioni...). Quest'ultimo aspetto è forse il più grave, e spiega le difficoltà da me incontrate anche per contattare gli stessi curatori. Spesso non esistono dei veri e propri direttori/responsabili, ma solo delle persone che si occupano di alcuni aspetti delle collezioni e dei musei, in modo del tutto volontario e marginale rispetto ai loro doveri istituzionali. Tuttavia, dalle interviste fatte ad alcuni curatori e dai pareri raccolti da altri soggetti interessati durante la raccolta delle informazioni, sono emersi alcuni aspetti interessanti per un ulteriore approfondimento delle realtà museali analizzate.

Il ruolo della scuola e dell'università

Uno degli aspetti che emerge dalle interviste fatte ai sei curatori [27] riguarda l'importanza della scuola e dell'università nell'aver avvicinato gli stessi curatori alla scienza chimica. Alcuni di loro hanno evidenziato in particolare l'importanza delle attività di laboratorio, luogo adatto a mettere in luce la vera natura di questa scienza. L'aver avuto buoni insegnanti e buoni insegnamenti è lo stimolo più importante ad avvicinarsi alla chimica. Il ruolo della scuola secondaria emerge anche quando i curatori parlano delle modalità e delle circostanze che li hanno portati ad avvicinarsi al museo. Tutti concordano nel dire che il senso del patrimonio storico e la passione per la storia e per l'arte, sviluppato durante il liceo, sono stati elementi fondamentali. In alcune delle parole degli intervistati emerge anche una forte autocritica al sistema d'insegnamento attuale: i laboratori, specie nei licei, sono limitati al minimo. La situazione nelle Università non è migliore. Di fatto è abbastanza desolante, come afferma la curatrice del Museo di Genova, Teresa Gandolfi, che i ragazzi che si iscrivono a chimica non incontrano mai, in nessun corso di studio, la realtà del museo. Difficilmente gli studenti di chimica visitano le collezioni universitarie.

Chimica come "arte di inquinare il mondo": ma perché un'immagine così negativa?

Non ci sono dubbi: l'immagine della chimica oggi è ai minimi storici. *"Nella maggior parte delle persone la chimica è l'arte di inquinare il mondo e non l'arte di trasformazione controllata delle sostanze con processi di grande e piccola scala."* (Pierandrea Malfi) Complessivamente nella società la chimica viene associata quasi sempre a fenomeni negativi, come le droghe, l'inquinamento e le armi. Non solo, lo stesso aggettivo "chimico" viene usato nel linguaggio corrente in modo inappropriato e negativo: "chimico" è, nell'immaginario collettivo, sinonimo di artificiale, non naturale, potenzialmente pericoloso. Questa associazione, che dal punto di vista scientifico è completamente sbagliata e fuorviante, è entrata nel linguaggio comune in modo così radicato che il processo per "ripulire" la parola chimica dall'etichetta di nocivo, tossico e negativo non potrà certo essere veloce (*Figura 11*). Interessante è cercare di capire a quali cause venga attribuita la cattiva immagine della chimica. Ne sono state individuate essenzialmente tre, in ordine di importanza per gli intervistati: 1) i media, 2) la scuola e l'università, 3) gli stessi chimici. I media, dalla carta stampata alla televisione, vengono accusati di fare cattiva informazione, di dare un'immagine distorta, di contribuire a creare confusione su cosa è la chimica e su cosa non è. *"Sui media passano solo le cose deleterie e negative", "la nostra è una lotta contro l'ignoranza e contro i media", "c'è un grosso vuoto nell'informazione. Si fanno passare solo alcune notizie e non altre", c'è una scarsa conoscenza di questa disciplina da parte della popolazione, che si affida ai giudizi dei media, formulati da persone che a loro volta hanno competenze molto parziali del settore.*[27] La scuola, d'altra parte, è accusata di dare poca informazione. Nelle scuole e nelle università la didattica non viene fatta o viene fatta poco e questo viene individuato dagli intervistati come un altro dei fattori che contribuisce al dilagare dell'ignoranza su temi scientifici anche di attualità. La scuola in tutti i gradi, viene considerata di grande importanza anche per la preparazione complessiva dei ragazzi che poi non hanno gli strumenti per capire e anche per appassionarsi alla scienza. Infine anche i chimici hanno le loro responsabilità, soprattutto perché non si fanno carico dell'immagine della chimica, non si interessano di questo aspetto, non curano la comunicazione e non si fanno sentire. *"L'immagine della chimica oggi è*

pessima anche per colpa dei chimici che non hanno pubblicizzato bene il loro lavoro. Credo che i chimici e la società chimica italiana debbano impegnarsi di più per migliorare l'idea della chimica, facendo vedere che la chimica può aiutare la società e che non bisogna avere paura.” (Luigi Campanella) “Forse l'immagine della chimica potrebbe migliorare se i chimici italiani dispiegassero un maggiore impegno negli studi storici e nel settore della comunicazione e delle collezioni museali”. (Paolo Ferloni)

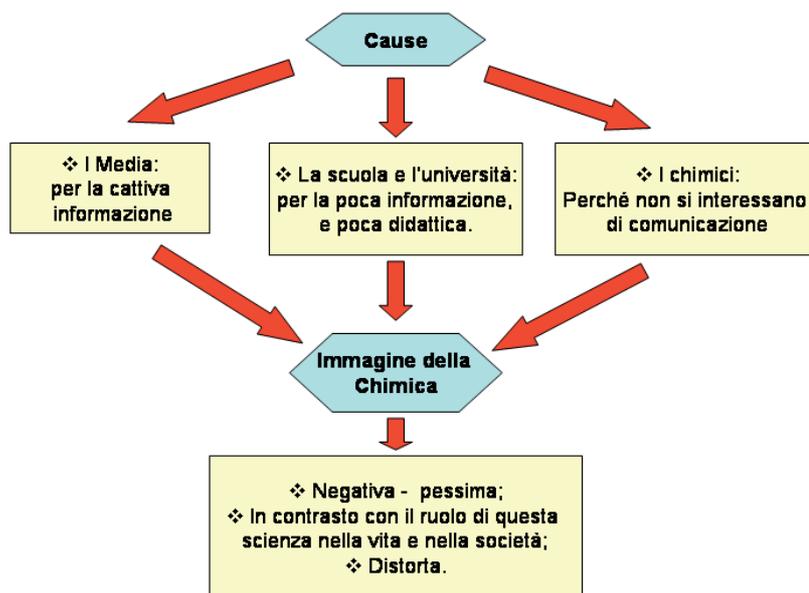


Figura 11: L'immagine della chimica e le cause individuate dai curatori dei musei intervistati.

Ruolo dei musei e delle collezioni di chimica

Se l'immagine della chimica non si potrà cambiare solo grazie ai musei e alle collezioni di chimica, certamente queste istituzioni rimangono molto importanti sotto diversi punti di vista. Prima di tutto nelle bacheche e nelle vetrine di questi musei sono raccolti tantissimi oggetti, alcuni di valore storico inestimabile, tutti di alto valore scientifico, come testimonianza dell'attività dei chimici dall'Ottocento alla prima metà del Novecento. Tutto il lavoro di Stanislao Cannizzaro, ad esempio, i suoi quaderni di studio, i reagenti, gli strumenti e le tavole didattiche, si trova in questi musei di chimica. Il valore storico e il patrimonio scientifico dei reperti contenuti in queste collezioni sono il primo motivo che spinge a rivendicare il ruolo di questi musei, come musei conservativi e storici (Figura 12).

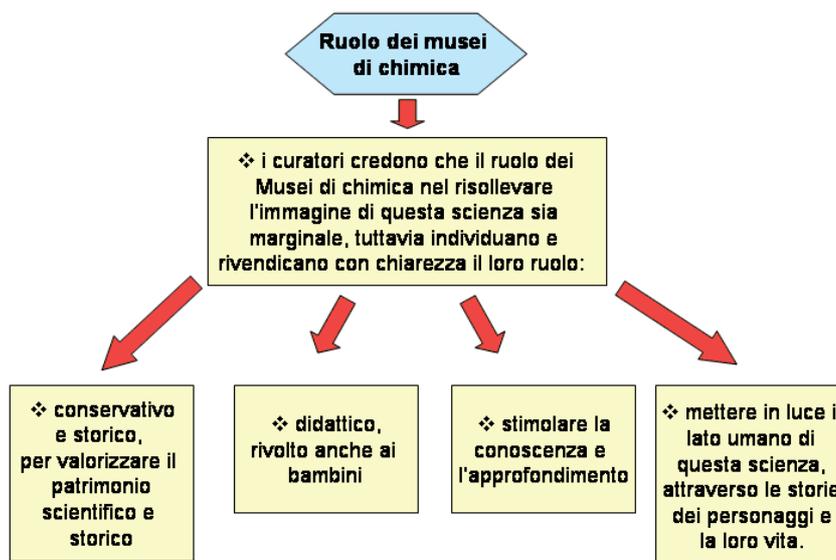


Figura 12: Il ruolo dei musei di chimica secondo i curatori dei musei intervistati.

I musei di chimica in Italia e l'immagine della chimica

A questo ruolo, ne seguono altri. Come diversi intervistati hanno evidenziato, il Museo ha un importantissimo ruolo nell'educazione scientifica in generale, e per la chimica in particolare, anche se sicuramente, allo stato attuale delle cose, solo potenziale. Nella consapevolezza dei curatori c'è comunque l'idea che il museo debba essere un'occasione per stimolare la curiosità e l'approfondimento, avvalendosi anche di aspetti ludici e ricreativi. Infine, uno dei curatori ha sottolineato anche un altro ruolo di questi musei: descrivere il lato umano di questa scienza, proprio grazie ai suoi personaggi. Raccontare la vita dei grandi scienziati, ma anche semplicemente l'evoluzione della ricerca attraverso decine e decine di ricercatori che hanno contribuito con i loro sforzi e con i loro piccoli successi e insuccessi al progresso della scienza chimica.

Un punto dolente: i visitatori

Un aspetto importante riguarda anche il numero di visitatori. Come è emerso dall'analisi delle schede e dalle interviste con i curatori, questi musei hanno un numero di visitatori molto ridotto. Nella maggior parte dei casi, non esiste neanche un registro dei visitatori, quindi non esiste un dato vero e proprio. In alcuni casi, le collezioni non sono aperte, ma solo visitabili su appuntamento, riducendo ulteriormente il numero dei visitatori. Il caso migliore è rappresentato dal Museo di Chimica di Roma dove si parla di 3-4 mila visitatori all'anno. Questi numeri sono assolutamente piccoli se si confrontano con quelli di strutture grandi, come il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci" di Milano o di Città della Scienza di Napoli (4 mila contro circa 200.000, tenendo conto anche solo dei visitatori provenienti dalle scuole), ma anche se li si confronta con strutture medio-piccole, che comunque in Italia viaggiano tra i 20.000 e gli 80.000 visitatori annui nel caso di strutture impostate in modo moderno e interattivo e che offrano laboratori didattici (Immaginario scientifico di Trieste, Museo del Bali di Saltara, Museo del cielo e della terra di San Giovanni in Persiceto, ecc...).

Contrasto tra le idee per il futuro e le difficoltà del presente

Una volta definiti gli obiettivi e la *mission* dei musei e delle collezioni di chimica, non sono mancati da parte degli intervistati spunti di riflessione e idee per il futuro di queste realtà.

Dalle interviste sono emerse diverse proposte e veri e propri auspici, che purtroppo si scontrano con le difficoltà economiche e pratiche di questi musei:

1) Coinvolgimento dei ragazzi delle scuole e dell'università nell'allestimento e nell'organizzazione delle attività. Singolare è il caso del Liceo Foscarini di Venezia dove esiste un progetto chiamato "studenti guide", che consiste nel formare, con un corso mirato, un gruppo di studenti per svolgere la funzione di guida entro il Museo e in grado di eseguire in laboratorio in sicurezza degli esperimenti semplici e divertenti con gli strumenti antichi.

2) Potenziamento delle attività proposte dal museo: in aggiunta alla visita guidata, i curatori pensano alla realizzazione di dimostrazioni scientifiche e science show, oppure all'utilizzo di prodotti multimediali. Come spiega Rossella Grassi, dell'ITI di Firenze: *"Un museo che espone strumenti tecnici e scientifici dovrebbe avere come obiettivo di stimolare la curiosità di chi lo visita. Lo strumento dovrebbe essere affiancato, oltre che dalla scheda tecnica in sintesi, spesso noiosa per i non addetti ai lavori, anche da un filmato in cui si mostri le modalità di utilizzo dell'apparecchio e il tipo di risposta analitica che lo strumento offre"*.

3) Apertura del museo verso l'esterno con la partecipazione a mostre e festival della scienza (come già avviene a Genova e a Bologna). Questa attenzione verso l'esterno e verso la società potrebbe essere un elemento molto importante proprio per migliorare l'immagine della chimica. Come racconta Luigi Campanella parlando dal progetto MUSIS per la nascita di una Città della Scienza a Roma: *"Io insieme ad altri eravamo convinti che la scienza dovesse spostarsi fuori dalle università e che si potesse fare anche in altri ambienti: come le scuole inferiori, i musei, ma anche in piazza e dentro le industrie."* Questo impulso verso la società è anche il riflesso di una nuova tendenza dei chimici e delle società chimiche, italiana ed europee, verso la società e verso i diversi pubblici, testimoniato anche dall'aumento delle iniziative fatte per promuovere la scienza chimica degli ultimi anni. Il cambiamento nell'atteggiamento dei chimici si scontra però con le difficoltà pratiche che per ora sembrano insormontabili, se non altro dal punto di vista dei chimici che si occupano dei musei e delle collezioni.

Mancanza di tempo, di spazi e di fondi sono aspetti reali e concreti emersi con estrema chiarezza da questo studio.

Ringraziamenti:

Questo lavoro non sarebbe stato possibile grazie ai preziosi suggerimenti di Paola Rodari. Vorrei ringraziare i curatori dei musei analizzati, in particolare, per la loro disponibilità, Paolo Ferloni, Teresa Gandolfi, Luigi Campanella, Errico Zeuli, Pierandrea Malfi, e Rossella Grassi. Ringrazio inoltre la SISSA e il corpo docente del Master in Comunicazione della Scienza.

Riferimenti Bibliografici

[1] R. Hoffmann, *La chimica allo specchio*, tr. it. L. Sosio, Longanesi & C. ed., Milano 2005.

- [2] V. Marchis, Prefazione a *Nuova Civiltà delle Macchine*, Riflessioni sulla chimica (I), anno XXII, n. 3, 2004.
- [3] F. Ghisotti, *Dall'alchimia alla chimica*, Piccola Biblioteca di Base, La scienza, Fenice 2000, Roma 1994.
- [4] L. Cerruti, "Storiografia della scienza e autoipoiesi. Un'interpretazione della storia della chimica nel Novecento", in *Nuova Civiltà delle Macchine*, Riflessioni sulla chimica (I), anno XXII, n. 3, 2004.
- [5] <http://www.minerva.unito.it/>
- [6] N. J. Moreau, "Public Images of Chemistry", *Chem. Intern.* 2005, 27, num. 4.
- [7] R. Haynes, "The alchemist in fiction: the master narrative", *HYLE – International Journal for Phylosophy of Chemistry* 2006, 12, 5.
- [8] P. Ball, "Chemistry and Power in recent American Fiction", *HYLE – International Journal for Phylosophy of Chemistry* 2006, 12, 45.
- [9] P. Weingart, "Chemists and their Craft in Fiction Film", *HYLE – International Journal for Phylosophy of Chemistry* 2006, 12, 31.
- [10] R. E. Eastes: "[*From primary school to university: the main obstacles to the comprehension of chemistry*](#)", Abstract presso la conferenza internazionale "Public Images of Chemistry in the twentieth century", Parigi, 17-18 settembre 2004.
- [11] D. M. Knight, ESSAY: "Popularizing Chemistry: hands-on and hands-off", *HYLE – International Journal for Phylosophy of Chemistry* 2006, 12,131.
- [12] P. Laszlo, "Unfortunate Trends in the Popularization of Science", *Interdisciplinary Science Reviews* 2005, 30, 223.
- [13] P. Atkins, "Chemistry Education", *Chem. Intern.* 2003, 25, num. 1.
- [14] P. Mahaffy, "Chemists' Understanding of the Public", *Chem. Intern.* July-August 2006, pp. 14.
- [15] D. A. Evans, "Fear of all snakes, spiders,... and chemicals", *Chem. Intern.* July-August 2006, pp. 12.
- [16] F. De Angelis, Relazione all'Assemblea della Società Chimica Italiana, Siena 2005.
- [17] <http://www.catalyst.org.uk>
- [18] C. Allison, "Catalist - The museum of the chemical industry", *Chem. Intern.* 2002, 24, num.1.
- [19] A. A. Denio, "Why not a chemistry museum?", *Abs. of papers of the American Chemical Society* 2004 228 757; & A. A. Denio, comunicazione privata, 2006.
- [20] M. N. S. Rao, H. W. Roesky, "Chemistry museum at Gottingen University - A solution to the problem?" *Curr. Science* 2001, 80, 624.
- [21] R. G. Silberman, C. Trautmann, S. M. Merkel, "Chemistry at a science museum", *J. Chem. Educ.* 2004, 81, 51.
- [22] R. N. Zare, "Association Reports: Where's the Chemistry in Science Museums?", *J. Chem. Educ.* 1996, 73, A198.
- [23] <http://www.chemforlife.org>
- [24] U. Kernbach, intervista telefonica (30 agosto 2006).
- [25] G. Bignami e A. Carpi De Resmini, *I laboratori di chimica terapeutica*. Quaderno 1 (I beni storico-scientifici dell'Istituto superiore della Sanità); R. Mazzolini, "Le collezioni scientifiche del Ginnasio-Liceo "Giovanni Prati" di Trento", in *Annali 1994 - 1997* a cura di L. de Finis; N. Nicolini e G. Terenna. *Collezione di vetreria scientifica*. Nuova immagine editrice, Siena 1999; G. Rambaldi, *Istrumenti di chimica. Un laboratorio del XIX secolo*. Pirella editore; G. Terenna, *Le donazioni di strumenti scientifici e medici*, Nuova immagine editrice, Siena 2003.
- [26] V. Domenici, Master in Comunicazione della Scienza, SISSA, Trieste 2006.
- [27] Sono stati intervistati: Paolo Ferloni del Dipartimento di Chimica dell'Università di Pavia, curatore delle "Collezioni di chimica"; Teresa Gandolfi, del Dipartimento di Chimica "Ciamician" di Bologna, responsabile degli strumenti scientifici del Museo di Chimica "Ciamician" di Bologna; Luigi Campanella, dell'Università La Sapienza di Roma, direttore del "Museo di Chimica" di Roma; Errico Zeuli, dell'Università La Sapienza di Roma, ex-direttore del "Museo di Chimica" di Roma; Pierandrea Malfi, curatore scientifico del Museo "Traversi" del Liceo "Foscarini" di Venezia; Rossella Grassi, curatore del settore chimico delle "Collezioni scientifiche" dell'ITI-IPIA Leonardo da Vinci di Prato.

Gli atomi di Giacomo.

Dalla chimica di Lavoisier al materialismo

VALENTINA SORDONI

Ancona

valentinasordoni@virgilio.it

INTRODUZIONE

Da circa un decennio parte della critica leopardiana ha mostrato un vivo interesse per l'esame della possibile influenza del pensiero scientifico moderno nell'*opera omnia* del poeta.

Nonostante la bibliografia in proposito sia oggi numerosa, in Italia solo Gaspare Polizzi ha dedicato la dovuta attenzione al ruolo che la chimica nello specifico ha avuto nel pensiero e nella produzione del Recanatese. Studiando le *Dissertazioni fisiche* del 1811 e le successive produzioni, si comprende come la chimica moderna abbia inciso nella formazione del poeta in maniera decisiva.

Non solo l'ultimo saggio in cui Leopardi si applica il 20 luglio 1812 era dedicato in parte alla chimica,¹ ma questa scienza ha progressivamente influenzato la sua adesione al materialismo filosofico, fino a portarlo nel 1825 a quella lungimirante sintesi tra materialismo e chimica testimoniata dal *Frammento Apocrifo di Stratone da Lampsaco*.

LA CHIMICA NELLE DISSERTAZIONI FILOSOFICHE²

Il primo incontro di Leopardi con la chimica risale al lontano 1811 come testimoniano le *Dissertazioni filosofiche* compilate in quell'anno³.

Nella *Dissertazione sopra l'esistenza di un ente supremo* Leopardi, filtrando le sue tesi da un testo dell'abate Sauri, critica la teoria epicurea atomistica e la relativa ipotesi dell'esistenza del vuoto⁴, dimostrando di conoscere, pur non accettandola, l'esistenza di queste particelle microscopiche:

Affermano gli Epicurei, che il mondo non è che un composto di atomi ossia di sottilissimi elementi, o primitive particelle, le quali aggirandosi sin da tutta l'eternità nel vacuo spazio per mezzo di un moto, di cui ignorasi la cagione, vennero per un fortuito incontro a combinarsi, ed a comporre l'universo tutto, gli uomini formandosi dipoi dalla feccia del Nilo⁵.

Dopo aver riportato nel testo una citazione di Cicerone⁶ a prova dell'assurdità del sistema degli Epicurei, Leopardi continua così:

Se il fortuito, ed accidentale concorso degli atomi ha potuto, come esprimersi l'Abate Sauri, produrre quest'universo per qual ragione non produrrà egli un palazzo, una città, un vascello cose di tanta più facile esecuzione? Poi qual necessità vi ha egli mai, che questi atomi abbiano esistito? Per quale necessità si saranno essi agitati, e posti in moto? In qual maniera questi esseri di tanto poca conseguenza saranno stati necessari? E quando ancora fossero egli necessari, e quando fosse anche stato necessario il lor moto in qual maniera si sarà poi egli potuto alterare. Se il moto non fosse stato lor necessario chi mai lo avrebbe ad essi comunicato? [...] Oltrecchè tutte le combinazioni possibili di atomi, e di elementi non daranno mai altro, che produzioni di quella natura medesima, di cui son composti gli atomi, e gli elementi combinati mentre la organizzazione, e la vita non possono mai risultare da un casuale miscuglio di atomi, e di elementi. Un chimico infatti quando combina insieme gli uni con gli altri i varj principj dei corpi non produrrà un misto, il quale sia capace nel suo crogiuolo di sentire e di pensare⁷.

1. Questo saggio è ora pubblicato e analizzato in MARCO CIARDI, VALENTINA SORDONI, *Un testo dimenticato: Giacomo Leopardi e il "Saggio di chimica e storia naturale" del 1812*, in «Intersezioni», 28, n. 1, 2008, pp. 53-61.

2. Il riferimento per le *Dissertazioni Filosofiche* è l'edizione curata da Tatiana Crivelli (1995), indicata d'ora in poi con LEOPARDI (1995), seguito dal numero delle pagine interessate.

3. Le *Dissertazioni* sono affidate a cinque quinterni scritti da Leopardi tra i tredici e i quattordici anni, probabilmente in occasione dei saggi annuali del 1811-1812. Il corpo fondamentale dell'opera è stato compilato nel 1811, seguito dalle *Dissertazioni Morali* e dalle *Dissertazioni aggiunte* (logica) stese nel 1812.

4. LEOPARDI (1995), pag. 99.

5. Ivi, pag. 105

6. VALSECCHI ANTONIO (1776), *Fondamenti della religione*, Padova, 3 tom., in-4 (III, p. II, c. II, §4, 205).

7. SAURI JEAN (1777), *Elementi di logica, matematica, metafisica ed etica, ossia la morale del cittadino del mondo*. Venezia, 5 voll., in-8 (II, s. II, c. I, risposta alla IV obiezione).

A questo punto il poeta introduce il tema del vuoto, seppur in un contesto non prettamente scientifico, volto a dimostrare come il concetto del «vacuo» fosse stato utilizzato dagli atomisti per contestare l'esistenza di un Essere supremo, da lui invece ammesso, restando dunque fedele ai dettami dell'apologetica cattolica cui fu inizialmente educato:

Si fonda inoltre il presente sistema sopra un principio, il quale non è sì facile a dimostrarsi; cioè suppongono essi, che esista fuori del creato un vacuo, nel quale avessero campo di aggirarsi quegli atomi, e quelle particelle, che sono il fondamento del sistema di cui parliamo.

Un tal principio dette ad alcuni materia ad opporsi all'esistenza di un Essere Supremo, dicendo, che questo vuoto è un ente, che ha in se medesimo la cagione della propria esistenza, e che conseguentemente dalla cognizione dell'aspettativa dedur non si può l'esistenza di un Dio⁸.

Benché questa obbiezione non sia di alcuna forza essendo evidente che sebbene questo vuoto esistesse non dovrebbe considerarsi che come una sostanza passiva senza forza alcuna pensiero, o intendimento, e che conseguentemente in qualunque modo ciò esser si voglia sempre necessaria l'esistenza di un Essere perfettissimo⁹.

Prima di concludere, ribadendo contro gli atei l'effettiva esistenza di un Essere Supremo, Leopardi ritornò sul tema del vuoto e sull'atomismo: «Ma sebbene questo vuoto si ammetta non perciò ammetter si dovrà il sistema degli atomisti, il quale già con altre ragioni dimostrammo essere affatto assurdo»¹⁰.

Il poeta riprese la sua riflessione sul vuoto nella *Dissertazione sopra l'estensione*, trattando il tema questa volta da un'ottica più scientifica, lontana dall'influenza teologica della dissertazione analizzata precedentemente.

Dopo aver fornito nell'*incipit* una definizione del concetto di «estensione»¹¹, Leopardi si soffermò sulla questione del vuoto citando Jacquier e concludendo senza una propria esplicita presa di posizione in merito: «io reputo più sano consiglio il restare indeciso fra gli opposti pareri circa il vacuo»¹².

Interessante sotto un profilo chimico è la *Dissertazione sopra l'attrazione* dove Leopardi citò il concetto di affinità chimica, servendosi di un dizionario integrativo non identificato¹³.

Il Recanatense dimostrò di conoscere l'importante concetto di affinità d'aggregazione, rimasto valido fin quando Lavoisier determinando la nozione di «elemento chimico» e la legge di conservazione della massa, propose teorie più complesse per spiegare la capacità combinatoria delle sostanze:

Non si ferma il Filosofo a dimostrare le proprietà dell'attrazione soltanto nelle grandi, o piccole, maggiori, o minori distanze, e tra corpi diversi, ma passa ancora a considerare quell'attrazione, la quale sussiste tra le molecole, che un sol corpo qualsivoglia compongono, ciò che in Chimica nomenclatura si appella affinità d'aggregazione. Per mezzo di questa forza attraente vien formata tutta l'ammirevole macchina dell'universo, e la tenace inconcussa compagine di tutti i corpi. Né in tal modo s'attraggono soltanto le primitive, minutissime particelle talchè vengano esse sole per tal mezzo a formare de' corpi ma i medesimi ancora s'attraggono talvolta per modo, che dalla loro unione risulta un sol corpo come tuttogiorno avvenir si scorge nell'acque, le di cui gocce unendosi insieme spinte dalla forza attraente che tra esse sussiste nel massimo suo vigore vengono uniformemente a comporre una sola goccia¹⁴.

Il concetto di affinità d'aggregazione ricomparve nella *Dissertazione sopra l'estensione*, laddove Leopardi spiegando le proprietà della materia si soffermò sulla divisibilità:

Viene altresì annoverata tra le proprietà dei corpi appartenenti alla loro estensione la *Divisibilità*¹⁵. Ciascun corpo è formato di particelle, e di molecole unite insieme per mezzo dell'affinità d'aggregazione, di cui sono dotate. Essi sono dunque divisibili, cioè le sue particelle possono essere slegate, e scomposte, le quali particelle essendo formate di altre molecole ancor più sottili possono anch'esse per conseguenza esser divise¹⁶.

8. Ivi, (II, c. I, obiezioni 16). È interessante notare che Sauri rinvia in questo brano al testo di Jacquier, confermando l'impressione, dalla somiglianza nelle argomentazioni, di una sua conoscenza dell'opera del francescano: tale rapporto intertestuale spiega anche la possibilità di Leopardi di oscillare facilmente nell'uso delle due fonti.

Si veda anche JACQUIER FRANCISCUS (1785), *Institutiones philosophicae ad studia theologica potissimum accomodatae*. Venetiis, 6 voll., in-12.

9. SAURI (1777). Si veda anche JACQUIER (1785, II, s. II, c. conclusio, OBJ.3, Inst. 4, 219).

10. JACQUIER (1785), s. II, c. I, conclusio, OBJ.3, Inst. 4, 218).

11. LEOPARDI (1995), pag. 159. Si legge «Noi intendiamo per estensione lo spazio, che corre tra i limiti di un corpo qualunque non eccettuato neppure quello, che si scorge tra più corpi, il quale non è occupato dall'aria».

12. Ivi, pag. 160. Insoddisfatto per le risposte che i testi consultati forniscono, Leopardi sospende il giudizio.

13. Ivi, pag. 33.

14. Ivi, pag.133.

15. Corsivo di Leopardi

16. Ivi, pp.163-164.

Gli atomi di Giacomo

Tale citazione estrapolata da un'opera di Brisson¹⁷ fu seguita nel testo da un'altra estratta dal dizionario Poli-Dandolo, con la quale Leopardi descrisse un esperimento realizzato dai fisici per dimostrare la «divisibilità dei corpi»¹⁸. Spiegata la prova sperimentale, il poeta riprese letteralmente e collocò a fondo pagina una nota di Dandolo, illuminante circa la sua cognizione del rinnovamento chimico lavoisieriano: «i principj della moderna Chimica dimostrano che la luce, e la fiamma non si sviluppano dal corpo che brucia ma bensì dall'aria vitale allorché l'ossigeno passa nel combustibile insieme con il calorico, e con la luce, con cui era unito, e che abbandonando l'aria vitale, si svolgono, e formano il fuoco¹⁹»

La prova successiva che Leopardi propose nella stessa dissertazione, a dimostrazione della divisibilità della materia, chiamò in causa l'importante relazione chimica tra l'acqua, il solvente, e il sale:

A dimostrare la divisibilità della materia può servire la nota esperienza, la quale prova che una piccola porzione di sale può ammettere in se stesso un oceano di acqua, la quale penetrando fra le intime molecole del sale le discioglie, e le separa in altre ancor più piccole, e queste in altre maggiormente sottili, e così andando in infinito in modo, che l'accennata porzione di sale resta distribuita per tutta l'acqua dissolvente, ed accrescendo ancora quest'ultima essa resterà salata in tutte le sue parti, ciò che può vedersi per mezzo di un agevole esperimento²⁰.

Segue nel testo un'altra citazione “chimica”, da fonte non identificata, relativa alla capacità dell'aria di essere dilatata dal calorico:

è noto ancora presso i Chimici che una piccola parte di aria può occupare un vastissimo spazio, ed essere sempre più dilatata per mezzo del calorico, il quale penetrandola per ogni parte ne separa le più minute particelle e la mette in istato di occupare uno spazio sempre maggiore a misura che accrescendosi il calorico si accresce la forza, e l'attività del medesimo a separare disciogliere, e dividere le molecole di quella piccola porzione di aria²¹.

Leopardi completò la sua trattazione sulla divisibilità della materia citando un ultimo esperimento non estraneo alla cultura chimica, tratto da un testo di Nollet²².

La stessa *Dissertazione sopra l'idrodinamica* rivelò un Leopardi all'avanguardia rispetto al sapere chimico moderno tanto da potersi soffermare su un'analisi del calorico, osservando:

Quella sostanza ora perfettamente conosciuta, che forma in gran parte il fondamento della moderna Chimica è quella, per mezzo di cui spiegasi evidentemente la causa della fluidità dei corpi. Io intendo parlar del *calorico*²³.

Questa sostanza sussiste nei corpi in diversi stati, vale a dire in istato di libertà, e di combinazione. Allorché egli è un corpo in istato di libertà noi facilmente ce ne avvediamo per il senso, che eccita nei nostri organi, ma non così ci vien fatto di conoscere la sua presenza allorché egli è in un corpo in istato soltanto di combinazione, poiché esso non è allora, che un calorico latente, il quale accresciuto a qualsivoglia grado non potrà giammai essere sensibile. Questo medesimo si sviluppa bene spesso nella decomposizione di alcun corpo, ed allora ponendosi in istato di libertà eccita in noi il senso del calore. Se egli è in un corpo ad una data quantità in istato di combinazione, il medesimo soffre una continua rarefazione delle sue parti, ed è per conseguenza fluido. A misura, che si accresce, o sminuisce il calorico di un corpo, il che avviene in proporzione dell'affinità, che ha quest'ultimo con il primo egli diverrà successivamente aeriforme, liquido, o solido, e la densità delle sue parti sarà in ragione inversa del calorico esistente fra le medesime²⁴.

Leopardi continuò sullo stesso tema portando come esempio l'effetto del calorico sull'acqua²⁵:

Un esempio evidentissimo di tutti gli accennati effetti del calorico ci vien somministrato dall'acqua. Se la medesima venga in un vaso qualunque esposta al fuoco in un dato tempo ponendosi il calorico, sostanza d'impercettibil sottigliezza, tra le molecole dell'acqua, e queste medesime dividendo, e riducendo in minime particelle, egli renderà il liquore invisibile, ed aeriforme sollevandolo in istato di vapore. Questo medesimo perdendo per un mangiamento di temperatura una parte del suo calorico, si condensa ad un dato punto, e forma le nubi. Sminuendosi il suo calorico egli torna allo stato di liquidità, e cade per il proprio peso sulla terra. Quivi abbassandosi

17. BRISSON JACQUES MATHURIN (1792-1793), *Trattato elementare ovvero Principj di Fisica fondati sulle nozioni più certe, tanto antiche, che moderne, e confermati dall'esperienza*, traduzione dal francese, prima edizione veneta riveduta, ed emendata sull'originale, tomi 5 in 8°, 5 voll., Venezia, (I, c. I, Delle proprietà generali de' corpi, Divisibilità §§ 7-8).

18. LEOPARDI (1995), pag.164.

19. Ivi, nota 26.

20. Ivi, pag. 165. Data la genericità della descrizione non si è potuta stabilire con precisione la fonte di questa citazione.

21. Ivi, pp.165-166.

22. NOLLET JEAN-ANTOINE (1780), *Lezioni di Fisica sperimentale* tradotta dal francese, Napoli, 6 voll., in-8 (I, s. I *Della Estensione, e della Divisibilità de' Corpi*).

23. Corsivo di Leopardi.

24. BRISSON (1792-1793, II, c. X: *De' Fluidi Elastici*, §588,173-174).

25. La notorietà dell'esempio riportato da Leopardi impedisce di risalire alla fonte usata.

la temperatura al grado di gelo, egli perde il calorico necessario a mantenerlo nello stato di liquore, il quale si manifesta rarefacendo l'aria tenuta dall'acqua con se combinata in istato di somma densità, e superando tutti gli ostacoli, che si oppongono alla dilatazione della medesima. L'acqua rimane allora in istato di solidità. In tal modo chiaramente spiegasi la causa della fluidità, e dimostrasì, che ogni fluido è composto di particelle solide, e non è in effetto, che un corpo solido rarefatto²⁶.

Il concetto di calorico ritornò nella successiva *Dissertazione sopra i fluidi elastici*, testimone della partecipazione del poeta alle discussioni di chimica pneumatica a lui contemporanee.

Dopo un'introduzione di carattere storico²⁷ in cui sono esposti i sistemi elaborati da Cartesio, Malebranche e Newton, Leopardi distingue i fluidi in permanenti (gas), e non permanenti (vapori), vivificanti (arie) e soffocanti, usando come fonte principale il manuale Poli-Dandolo²⁸.

Più avanti l'attenzione del Recanatese si concentra sulla composizione chimica dell'aria mostrando una cognizione aggiornata sul piano della pneumatica:

L'aria il più importante di tutti i fluidi elastici per il soccorso, che ella presta all'animale nelle sue maggiori indigenze è composta di 27 parti di ossigeno, e di 73 di azoto, ambedue disciolti dal calorico, ed in istato di gas. Il gas ossigeno chiamato ancora aria vitale è il solo che serve alla respirazione, e combustione essendo il gas azoto del tutto indifferente a tali operazioni. I gas acido carbonico, ed idrogeno, che entrano nella composizione dell'aria atmosferica non giungono a formare un sol centesimo della medesima²⁹.

Il poeta si soffermò poi ad esaminare le proprietà dell'aria, fluidità, elasticità e peso, chiudendo così quella parte della *Dissertazione* dedicata alla chimica pneumatica, per occuparsi prima della conclusione, del suono.

Una particolare attenzione merita anche la *Dissertazione dedicata alla luce*, laddove nell'*incipit* viene presentata una definizione della stessa luce, mediata da un'opera di Brisson, nella quale è contenuta una esposizione divulgativa della nuova chimica di Lavoisier³⁰: «La luce è una delle 33 sostanze semplici note, la quale per la sua affinità con l'ossigeno agisce in modo particolare sopra i corpi»³¹.

Non a caso, Lavoisier aveva posto erroneamente la luce tra i 33 elementi che costituiscono la materia.

Nella conclusione della stessa *Dissertazione* Leopardi prende parte alla discussione sul fuoco, mostrando di aderire alla nuova teoria del chimico francese vittima del terrore: «Il fuoco non è, che un composto di calorico, e di luce. La combustione non viene in realtà prodotta da alcuna di queste sostanze, ma solamente dalla combustione del combustibile con l'ossigeno»³².

A difesa della sua posizione, Leopardi criticò alcuni esponenti della chimica stahliana (Becher, Maquer, Bergman, Sage, Kirvan, Stahl) e indirettamente le loro teorie sulla combustione.

Altrettante cognizioni chimiche sono contenute nella *Dissertazione sopra l'elettricità*, dove la produzione dei fenomeni elettrici viene spiegata da Leopardi attraverso l'azione di un fluido elettrico³³ capace di attrarre i corpi: «questo fluido viene dai Chimici annoverato fra di quelle trentatré sostanze semplici, di cui tutto l'orbe terracqueo è composto»³⁴.

Va sottolineato che Dandolo, il principale diffusore della nuova chimica lavoisieriana in Italia, nonché il traduttore italiano ufficiale delle opere del chimico francese, a differenza di Lavoisier, pose il fluido elettrico proprio tra le 33 sostanze semplici³⁵.

MATERIALISMO E CHIMICA

Bisogna essere cauti quando si parla di adesione leopardiana al materialismo, perché se per Tilgher Leopardi era già un convinto materialista nel 1821, Timpanaro posticipa tale data al 1823.

Tuttavia lo stesso Timpanaro³⁶ ritiene che proprio le opere di apologisti cattolici da Leopardi studiate in gioventù, fornirono indirettamente al poeta le prime nozioni sul materialismo settecentesco.

Nello stesso 1811 quando il poeta applica nelle *Dissertazioni* il suo bagaglio culturale chimico, dimostra anche di cono-

26. LEOPARDI (1995), pag.177.

27. Ripresa esplicitamente da Jacquier.

28. POLI GIUSEPPE SAVERIO (1796), *Elementi di Fisica sperimentale arricchiti d'illustrazioni di A. Fabris e di Vincenzo Dandolo e di due Dizionari di nomenclatura chimica vecchia e nuova, nuova e vecchia per quest'ultimo*; Venezia, 5 voll., in-8

29. LEOPARDI (1995, pp.189-190).

30. BRISSON (1792-1793). Leopardi usa il testo di Brisson in modo circoscritto, a causa forse della struttura dell'opera che a scapito dei cenni storici privilegia la descrizione delle esperienze presentate.

Leopardi sembra sfruttare essenzialmente la chiarezza delle definizioni.

31. LEOPARDI (1995), pag. 199.

32. Ivi, pp. 205-206.

33. POLI (1796, IV, lez. XXVI: *Sull'elettricità*, art I *Dei progressi di questa Scienza, e della varia natura dei corpi relativamente all'elettricità* §1773, 278).

34. Ivi, alla voce «*Fluido elettrico*», 130, si legge: «una delle 33 sostanze semplici»

35. ABBRI FERDINANDO (1984), *Le terre, l'acqua, le arie. La rivoluzione chimica del Settecento*, Bologna, Il Mulino, 1984.

36. LEOPARDI (1995), pag. 6.

Gli atomi di Giacomo

scere importanti nozioni materialiste, quelle della immaterialità e immortalità dell'anima, seguite da quella della "materia pensante", come ci testimoniano la *Dissertazione sopra i sogni*³⁷ e la *Dissertazioni sopra le doti dell'anima umana*. Nozione, l'ultima, che in questo periodo Leopardi condanna per restare fedele ai principi dell'educazione paterna e, alla quale aderirà solo intorno al 1826.

A distanza di un decennio dalla compilazione delle *Dissertazioni*, Leopardi inizia a riflettere intorno al concetto di materia, così come traspare dallo *Zibaldone*. Riflessioni queste che fino al 1823 non possono essere attribuite ad un convinto materialista, perché solo allora il Recanatese negherà l'esistenza di una realtà alternativa a quella materiale.

Parallelemente lo *Zibaldone* rivela, a partire dal 1821, una limitata seppur importante attenzione leopardiana alla nuova scienza chimica, senza tuttavia soffermarsi qui su sottili analisi tecniche come nelle precedenti *Dissertazioni*.

La prima citazione che Leopardi dedica a tale scienza viene scritta tra l'8 e il 14 marzo 1821, laddove il poeta riflettendo sul valore della lingua greca, riconosce che «da tanti secoli, resta sempre inesauribile»³⁸ tanto da fornire a diverse discipline il materiale necessario alle rispettive nomenclature. La *nouvelle chimie* di Lavoisier, com'è noto, usufruì proprio della lingua greca per fondare una nuova nomenclatura, suscitando tra l'altro numerose critiche³⁹ nel panorama chimico a lui contemporaneo.

Nella successiva annotazione riservata alla chimica, quella del 26 giugno 1821⁴⁰, Leopardi mostra da una parte che la stabilità teorica raggiunta da una scienza consentì ad essa di definire la propria nomenclatura, dall'altra la convinzione che il nuovo assetto concettuale proposto da Lavoisier abbia permesso alla chimica di rinnovarsi anche sotto il profilo terminologico. Interessante sotto il profilo filosofico è l'annotazione stesa tra il 2 e il 5 luglio 1821:

«infiniti progressi ha fatto la chimica quando ha scoperto che quei quattro elementi che si credevano primi elementi, erano composti, ed è giunta a trovar sostanze, se non del tutto elementari ed ultime esse stesse, certo molto più semplici delle prima conosciute⁴¹». Leopardi allude da una parte alla teoria aristotelica dei quattro elementi, *conditio sine qua non* per qualsiasi riflessione intorno alle teorie della materia, dall'altra tenne presente, come già dimostrato un decennio prima nelle *Dissertazioni fisiche*, gli studi fatti in età moderna su quelli che «si cedevano primi elementi»⁴²

Nella riflessione dedicata alla chimica del 10 agosto 1822⁴³ Leopardi rivela da un lato la sua convinzione circa lo scacco della razionalità analitica nello sviluppo della scienza, dall'altro l'idea che la riformulazione dei nuovi principi chimici non abbia portato a particolari scoperte degne di essere paragonate con le antiche, rivelando la sua fede circa la superiorità degli antichi sui moderni, più volte professata nello *Zibaldone*.

L'ultima annotazione in chiave cronologica trasmessaci dallo *Zibaldone* e in cui si fa esplicito riferimento alla chimica, è del 12 dicembre 1823⁴⁴, dove il poeta valuta in modo ambivalente la conoscenza scientifica, in particolar modo chimica, incapace di percepire sia i rapporti che possono aver luogo secondo le «infinite combinazioni»⁴⁵, sia le modificazioni di cui «dette cause»⁴⁶ sono suscettibili, che solo una mente illuminata può cogliere. Tuttavia i principi scoperti dalle scienze restano indubitabili.

Parallelemente alla compilazione di tali annotazioni "chimiche", Leopardi rafforzò la propria concezione materialista con nuove letture settecentesche, tra le quali quella del maggio 1825⁴⁷, *Le Bon sens* del Barone D'Holbach.

I dubbi sulla fruizione giovanile leopardiana delle opere del materialista francese furono, a questa data, sostituiti dalla certezza che Leopardi conoscesse, se non sicuramente *Il Système de la nature*⁴⁸, come sostenne Timpanaro⁴⁹, almeno *Le Bon sens*.

Lo stesso orizzonte leopardiano si era modificato: il poeta era finalmente uscito dalle circoscritte stanze della biblioteca per incontrarsi con gli ambienti bolognese poi milanese che avrebbero favorito in lui quel cambiamento ideologico tale da allontanato dai dettami dell'educazione puerile paterna.

Proprio nella città delle due torri Leopardi compose nell'autunno del 1825 *Il frammento apocrifo di Stratone da lampsaco*, dove in un breve passaggio mostra la sua conoscenza esplicita della legge di conservazione della massa di Lavoisier :

37. Mostra identità con l'opera di Jacquier (1785, I.p. II,c. I, a I De mentis humanae Spiritualitate, 66-67)

38. LEOPARDI (1991), *Zibaldone di pensieri*, edizione critica e annotata a cura di G. Pacella, Garzanti Editori, Milano, 738

39. CORSI PIETRO (2003), *Il prezzo della politica: ascesa e caduta di una nuova lingua per la scienza 1795-1802*, in *Atti del X Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica* (Pavia, 22-25 Ottobre 2003), a cura di M. Ciardi e F. Giudice, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze.

40. LEOPARDI, *Zibaldone*, 1219.

41. Ivi, 1275.

42. Ibidem

43. Ivi, 2605

44. Ivi, 3977-3978

45. Ibidem.

46. Ibidem.

47. PELOSI PIETRO (1991), *Leopardi fisico e metafisico*, Federico&Ardia editore, Napoli, p. 135.

48. Controverse sono le posizioni degli studiosi circa la conoscenza o meno del *Système* da parte di Leopardi. Si esprimono in senso positivo Graziella Corsinovi e Claudia Stancati.

49. Ivi, pag. 125.

Ora noi veggiamo che la materia non si accresce mai di una eziandio menoma quantità, niuna anco menoma parte della materia si perde, in guisa che essa materia non è sottoposta a perire⁵⁰.

CONCLUSIONI

L'analisi svolta ci consente di chiarire come gli studi chimici, promossi inizialmente da Don Sebastiano Sanchini ed elaborati poi nello *Zibaldone*, continuarono ad essere coltivati dal poeta parallelamente alle sue riflessioni intorno al concetto di materia, tanto da fargli maturare quel materialismo dinamico denso di significati chimici espresso nel *Frammento*.⁵¹

Può essere quindi discutibile la posizione di Paolo Casini, che propone un Leopardi non soltanto passivo rispetto ai risultati della prima rivoluzione scientifica, ma soprattutto poco interessato ad informarsi circa le frontiere più avanzate della ricerca, tanto da limitarsi, per quanto concerne la chimica, a citare occasionalmente Lavoisier.

Alla capacità leopardiana di filtrare la nuova scienza, si affiancò non molto tempo dopo, l'amicizia concreta del Recanatense con importanti scienziati e naturalisti contemporanei, con i quali affinò la sua cultura chimica: Francesco Orioli (Vallarano, Viterbo, 1783-Roma 1856), Domenico Paoli (Pesaro 1788-1849) e Gaetano Cioni (Firenze, 1760-1851).

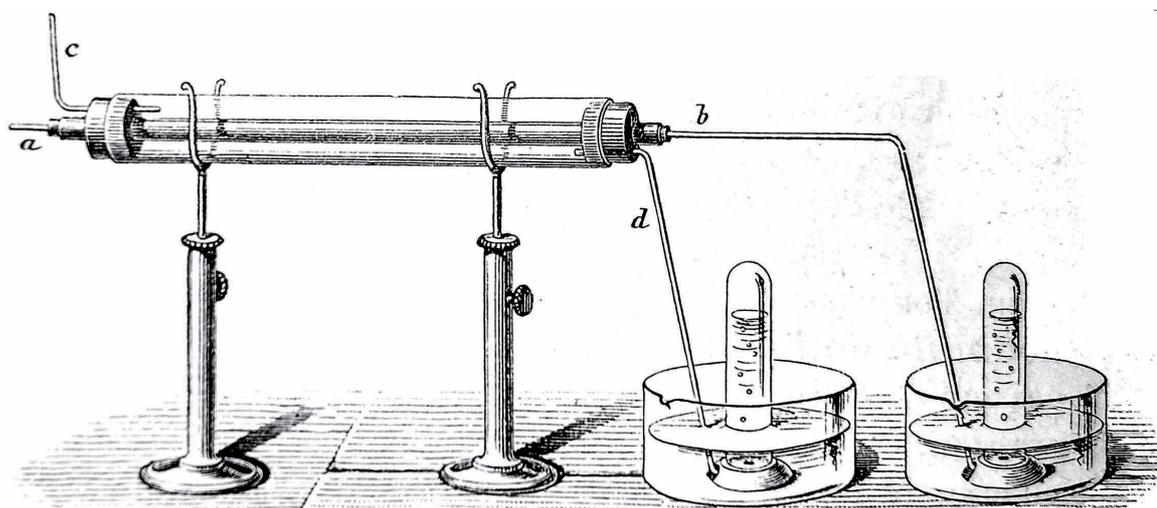
Amicizie queste da non trascurare se pensiamo che Cioni, nel novembre 1827, condusse Leopardi con sé a Pisa, dove i due vissero in stretto contatto quasi quotidianamente, dal 9 novembre 1827 al 7 giugno 1828.

Come ha scritto Gaspare Polizzi, non è possibile «ridurre il sapere chimico in Leopardi ad una vicenda episodica e la sua ricostruzione a un esercizio retorico»⁵².

50. LEOPARDI (1997), *Tutte le poesie e tutte le prose*, a cura di L. Felici e E. Trevi, Edizione integrale, Newton & Compton, Roma, pag. 578.

51. STABILE GIORGIO (a cura di) (2001), *Giacomo Leopardi e il pensiero scientifico*, Fahrenheit 451, Roma, pag. 73

53. POLIZZI GASPARE (2005), *Leopardi e la chimica, i chimici*, in *Atti dell'XI Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica* (Torino, 21-24 Settembre 2005), a cura di L. Cerruti e F. Turco, «*Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*», serie V, vol. XXIX, parte II, tomo II, pp. 157-181, pag. 179.



Endosmose du gaz hydrogène.



Gentile collega, in un precedente numero di questa rubrica, se ben ricordo il numero 1 del 2004, mi sono occupato della funzione dell'imitazione nell'insegnamento e nell'apprendimento. In quel contesto citavo a titolo di esempio una scena a cui avevo assistito molti anni prima: si trattava di una lezione di danza tenuta in una scuola di Bali (Indonesia).

Mi propongo ora di sviluppare ulteriormente le considerazioni fatte allora, in particolare vorrei superare, sulla base di alcune mie nuove letture, il termine piuttosto limitato e limitativo di "imitazione".

In quella rubrica raccontavo di essere capitato a Bali in una delle numerose scuole di danza dove avevo avuto modo di assistere a una sessione che maestro e allievi eseguivano al suono di una orchestra *gamelan*.

La lezione consisteva nell'esecuzione della danza da parte del maestro e nella "imitazione" dei suoi gesti da parte degli allievi che si muovevano dietro di lui; in prima istanza la procedura mi era parsa elementare per non dire rozza.

Il maestro assorto danzava in prima fila davanti a uno specchio. Gli allievi dietro di lui lo osservavano sia direttamente che nello specchio; essi, e questo è il punto importante, cercavano di riprodurre non solo i suoi movimenti ma anche ciò che esprimeva con i suoi gesti e con le espressioni del viso. Allora mi sembrò di capire che essi cercavano di comprendere lo spirito che animava il loro docente.

In altre parole si sforzavano di fare propri gli stati d'animo che lui esprimeva danzando.

A questo punto mi resi conto che la procedura era tutt'altro che rozza. Si trattava, anzi, di un raffinato strumento didattico: il maestro non avrebbe mai raggiunto lo stesso risultato descrivendo verbalmente le sue intenzioni.

Quindi il termine imitazione mi è subito sembrato assolutamente inadeguato: non mi trovavo di fronte ad una meccanica ripetizione di gesti ma ad una "ricostruzione" interiore di immagini e sentimenti secondo quanto predicato dal più autentico costruttivismo.

Il maestro, non so se consapevolmente o per semplice esperienza, metteva in moto un processo complesso durante il quale gli allievi si immedesimavano, facendo proprio il suo stato d'animo: il termine esatto per esprimere l'atteggiamento degli allievi è quello di "empatia".

Vediamo come viene descritto questo concetto in Wikipedia, l'enciclopedia di Internet.

L'empatia è innanzitutto la capacità di comprendere lo stato d'animo di un'altra persona durante una determinata azione. L'altra persona può essere un docente, un artista o più semplicemente un interlocutore.

La parola "empatia" deriva dal greco "empateia" usata per indicare il rapporto emozionale che teneva avvinto l'aedo ai suoi ascoltatori.

Nell'accezione più comune indica la capacità di rendersi emotivamente disponibili e pronti ad offrire una piena attenzione ad un'altra persona.

Per sua natura l'empatia trova la sua più immediata esplicitazione nell'arte e, secondo quanto sottolinea Bruner, nella narrazione (J. Bruner, "La cultura dell'educazione", Feltrinelli Ed.) e, vorrei aggiungere, nell'insegnamento; l'esempio sopra riportato della scuola di danza balinese sembra particolarmente attinente. Un esempio meno "turistico" è dato dall'espressione incantata con la quale un bambino, non affetto da autismo o ubriacato dagli spettacoli televisivi, ascolta una favola.

A partire da queste osservazioni si potrebbe affermare, un poco superficialmente, che il fenomeno dell'empatia non riguarda l'ambito scientifico; basta però assistere ad una discussione scientifica (ad esempio in ambito congressuale) per renderci conto che, al di là delle contrapposizioni personali, così non è. A maggior ragione il fenomeno dell'empatia riguarda l'insegnamento scientifico che non è solo scienza ma soprattutto è insegnamento.

L'insegnamento scientifico inoltre può essere svolto sotto forma di "storia di...". La storia della chimica ad esempio, efficacissima per introdurre la chimica stessa, è una vera e propria forma di narrazione che automaticamente comporta, secondo quanto si è detto, un atteggiamento empatico. Volendo per completezza fare riferimento a Piaget, a dispetto dei

Lettera al Lettore

piagetofobi, diremmo che *senza* empatia non c'è assimilazione.

Si deve inoltre considerare che un buon docente di chimica nell'insegnare comunica anche, oserei dire soprattutto, il proprio interesse per la disciplina e la passione per l'indagine scientifica. Certe scoperte, come sottolineava Hadamard (J. Hadamard, "La psicologia dell'invenzione", Raffaello Cortina Ed.), implicano sono sollecitate da riferimenti estetici e sono frutto dell'intuizione prima ancora che del ragionamento logico. La trasmissione di contenuti emozionali comporta automaticamente che entri in campo l'empatia.

Nel periodo in cui ero matricola di chimica un professore che si occupava di ricerche nel campo della chimica organica, accompagnò un gruppetto di noi studenti a visitare il suo laboratorio. Sul banco di lavoro erano allineati una serie di vetrini contenenti misteriose sostanze ognuna delle quali segnava una tappa della sua ricerca.

Il professore ci illustrò la natura delle sostanze stesse: io ancora ricordo il fremito di interesse che lo animava e che riusciva a comunicarci. Il suo atteggiamento era più efficace di mille parole ed evidentemente era scattato il meccanismo psicologico dell'empatia.

D'altro canto tutti sappiamo che gli insegnanti peggiori sono quelli che, forse a causa di un curriculum di studi travagliato, sono disinteressati alla propria disciplina; questi signori non si rendono conto che una lezione di chimica non può essere condotta come se si leggesse un manuale di laboratorio.

Una ventina di anni fa, ma tutti sappiamo quali viscosità deve superare l'informazione scientifica per giungere al grande pubblico, le neuroscienze hanno contribuito in maniera fondamentale a chiarire il problema dell'empatia.

Un gruppo di neurofisiologi dell'Università di Parma coordinato dal prof. Rizzolatti individuò, esaminando l'attività celebrale mediante NMR e PET, dei gruppi di neuroni, che per la loro funzione furono chiamati neuroni specchio (G. Rizzolatti, C. Sinigaglia, "So quel che fai", Raffaello Cortina Ed.). Questi sono collocati (riporto queste informazioni alla lettera perché non ho particolari competenze in questo campo) nella zona parietale e frontale e nell'area che sovrintende al linguaggio; questi neuroni sono collegati attraverso l'insula alle aree limbiche cioè alle aree che presiedono alle emozioni.

Queste strutture, presenti anche nei primati, seppure in misura minore, fanno in modo che a seguito dello stimolo visivo e verbale noi siamo in grado di riprodurre dentro di noi, e quindi di condividere, i sentimenti e le emozioni degli altri.

Quindi il meccanismo dei neuroni specchio facilita enormemente la trasmissione delle nostre esperienze e ci spinge a stabilire delle relazioni con gli altri. In altre parole grazie in virtù di neuroni specchio particolarmente sviluppati siamo esseri fortemente sociali.

A questo punto possiamo fare delle supposizioni, ad esempio possiamo chiederci quali tipi di professioni sono favorite da elevate capacità empatiche.

Si potrebbe fare (in ordine sparso) un elenco molto nutrito: psicologi, medici, imitatori e gente di spettacolo in genere, truffatori, politicanti, seduttori, pubblicitari, artisti di ogni genere e, *last but not least*, insegnanti!

Come si vede i neuroni specchio possono indurci ad operare sia nel bene che nel male.

Gentile collega, sperando di non averti annoiato con queste mie riflessioni un poco estemporanee, ti saluto amichevolmente.

Ricordo di Alberto Bargellini

La sua formazione era avvenuta presso le università di York e della California. Era tornato in Italia con la ferrea volontà di sperimentare le idee innovative sull'insegnamento delle scienze sperimentali e, in particolare della chimica, che aveva potuto conoscere e apprezzare in quei suoi soggiorni.

E' stato fra i fondatori della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana, ed ha fatto parte a lungo del consiglio direttivo della stessa Divisione.

E' stato l'ispiratore e l'organizzatore di numerosi progetti didattici.. Approdato all'IRRSAE Toscana negli anni '80, ne è stato membro del consiglio direttivo e, per un breve periodo, presidente. Durante l'attività IRRSAE è stato uno degli organizzatori del piano quinquennale di aggiornamento per gli insegnanti di Scuola Elementare.

Nel periodo più recente è stato membro del comitato di proposta per l'istituzione della SSIS Toscana, all'interno della quale è stato a lungo responsabile dell'indirizzo Scienze Naturali.

Ha pubblicato apprezzati testi scolastici, dalla Scuola elementare alla Scuola Secondaria Superiore.

L'ho conosciuto nel lontano 1973. Per chi si avvicinava allora alla ricerca educativa in ambito chimico era un riferimento, l'unico in Italia. L'avevo contattato per chiedergli di mostrarmi dal vivo il suo lavoro nelle classi della Scuola media Pistelli del quartiere Corea di Livorno. Rimasi affascinato dall'entusiasmo che suscitava nei ragazzini e negli insegnanti.

Negli anni successivi lo incontrai molte volte discutendo con lui sulla condizione di emarginazione in cui versava la ricerca educativa nel nostro settore; sulla necessità di fondare l'insegnamento della nostra disciplina su una forte rivalutazione dell'attività di laboratorio, del lavoro manuale come componente indispensabile e insostituibile dell'insegnamento chimico; sull'importanza di un lavoro a scuola che mettesse in evidenza le correlazioni tra proprietà, struttura e trasformazione, tra reattività e condizioni del sistema; sulla portata sociale, economica e politica di una ricerca didattica volta al rinnovamento dell'educazione scientifica nella scuola..

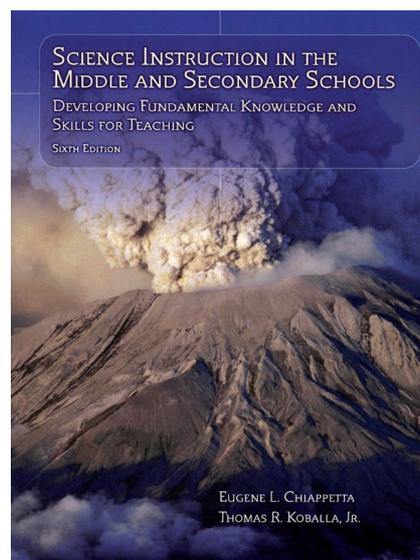
Un amico, un chimico che ha dato un contributo importante alla diffusione della cultura chimica nel nostro Paese.

Aldo Borsese

Science Instruction in the Middle and Secondary Schools

di Eugene L. Chiappetta and Thomas R. Koballa

2006 Merrill/Prentice Hall. (ISBN 0-13-191656-4)
pp. xv + 312 in broccura.



LIBERATO CARDELLINI

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

La sesta edizione di questo manuale sui metodi per l'insegnamento delle scienze nella scuola media e nelle superiori ha le sue radici nel testo sviluppato da Alfred T. Collette e Walter A. Thurber e pubblicato nel 1959 col titolo *Teaching Science in Today's Secondary Schools*, come prima edizione del presente volume. Il manuale si compone di tre parti (Getting into Science Teaching Quickly, Background for Science Teaching, Strategies for Science Teaching) e quattro appendici. Molti laureati sentono di essere in grado di insegnare e questo è ragionevole perché hanno studiato per molti anni e conoscono in modo profondo la materia. Molti giovani laureati interessati all'insegnamento sono probabilmente convinti che potrebbero insegnare meglio della maggior parte dei loro insegnanti. Se questo fosse il caso, un manuale sui metodi di insegnamento delle scienze sarebbe inutile: sfortunatamente la realtà è diversa e questo manuale riscuote un notevole successo.

Il libro inizia portando il lettore dentro la classe di un'insegnante all'inizio della carriera scolastica: viene descritta la prima lezione sugli acidi e le basi. L'insegnante si trova in difficoltà alla definizione di pH quando si rende conto che gli studenti non sanno cosa sia il logaritmo. L'insegnante di scienze alle prime armi si trova a dover fare fronte a parecchie sfide, ma queste difficoltà si possono superare con una buona preparazione. Le risorse a disposizione dell'insegnante sono i cinque elementi fondamentali dell'insegnamento: scopo, pianificazione, insegnamento, management e valutazione. Il resto del primo capitolo è dedicato a sviluppare questi aspetti, anche utilizzando delle vignette che riportano i colloqui della stessa insegnante col proprio mentore. Nelle discussioni gli Autori contrastano i punti di vista e le azioni di insegnanti non informati all'inizio della carriera confrontandoli con quelli di insegnanti che hanno riflettuto e sviluppato valide strategie che li rendono efficaci insegnanti di scienze. È anche riportato un test per l'auto valutazione delle proprie convinzioni rispetto all'insegnamento delle scienze.

Un intero capitolo è dedicato a presentare i documenti importanti che definiscono le attese e gli scopi del sistema educativo statunitense e i risultati del Third International Mathematics and Science Study (TIMSS) utilizzato per valutare le criticità del sistema. Come per sintetizzare i risultati è riportato il commento di uno dei coordinatori dello studio che cattura le difficoltà del sistema scolastico "U.S. education in math and science is a mile wide and an inch deep. It never gets off the surface level of knowledge." (Schmidt, 1997; p. 23) Forse per ironia della sorte, gli USA si trovano nella parte bassa della classifica con 480 punti ma l'Italia con 475 punti purtroppo segue. I documenti presentati che hanno guidato le riforme sono: *Project 2061 – Science for All Americans* dell'American Association for the Advancement of Science; *National Science Education Standards* del National Research Council e *Scope, Sequence, and Coordination*, progetto del National Science Teacher Association.

La pianificazione delle lezioni è certamente una delle più importanti funzioni dell'insegnante di scienze. La riflessione sugli argomenti della lezione dà l'opportunità di mettere in sequenza i concetti e gli eventi che possono originare e so-

Recensione

stenere l'apprendimento degli studenti. Affinché l'apprendimento sia efficace è necessario coinvolgere gli studenti in attività istruttive e significative che li aiutino a conoscere e li facilitino a costruire concetti importanti e a sviluppare le loro abilità

La capacità di riflettere sulle lezioni per eliminarne i punti deboli e la comprensione associata ai cinque elementi fondamentali dell'insegnamento per permettere una comprensione maggiore da parte degli studenti è ciò che Lee Shulman ha chiamato *pedagogical content knowledge* (PCK, p. 9 e 32): “le maniere di rappresentare e formulare la materia per renderla comprensibile ad altri” [1]; “un'amalgama speciale di contenuto e pedagogia racchiuso soltanto nel bagaglio degli insegnanti” [2] ed “è riflessa nell'abilità dell'insegnante di spiegare le idee in diversi modi” (p. 173). Viene riportata una lista di abilità, strategie e tecniche per insegnare ed apprendere in modo significativo e la pianificazione completa di una lezione.

L'insegnamento origina e guida l'apprendimento ed è perciò considerato l'attività più importante dell'insegnante. Sappiamo per esperienza che le caratteristiche personali dell'insegnante fanno la differenza: utilizzare metodi attivi di insegnamento e mettere energia e convinzione nel proprio lavoro aumenta il coinvolgimento degli studenti e migliora l'apprendimento della materia.

Un insegnante competente possiede una buona comprensione e conoscenza della materia che insegna ed è capace di rendere la materia che insegna interessante e rilevante per gli studenti. Gli insegnanti che mostrano entusiasmo verso il proprio lavoro sono quelli capaci di motivare più facilmente gli studenti. A pag. 48 viene introdotto il modello didattico delle 5E (Engagement, Exploration, Explanation, Elaboration, Evaluation) che viene ripreso e sviluppato a pag. 152.

Il management della classe è la preoccupazione principale degli insegnanti all'inizio della carriera. Gestire una classe comporta diverse responsabilità e può essere complesso e difficile; l'insegnante deve conoscere quali possono essere alcune cause del comportamento non appropriato degli studenti. Per gestire con successo la classe viene suggerito di passare dal paradigma dell'obbedienza, dove l'insegnante usa il suo potere per ottenere un certo comportamento da parte degli studenti, ad un paradigma di responsabilità, dove l'insegnante aiuta gli studenti a sviluppare una propria guida interna.

Gestire con successo una classe richiede molto più della semplice disciplina: significa costruire una comunità di apprendimento, un luogo che permette e incoraggia l'istruzione, che promuove e mantiene l'interesse e l'attenzione verso la materia.

I primi giorni di scuola sono importanti per tutti gli insegnanti e sono critici per quelli all'inizio della carriera. Le regole del gioco vengono in gran parte qui stabilite ed è all'inizio dell'anno che gli studenti incominciano a sviluppare l'amore o l'antipatia verso la materia. Vengono riportate informazioni succinte per creare ambienti positivi durante i primi giorni di scuola tratte da uno studio di Julianne Turner e coll. [3]; l'articolo è ancor più informativo in quanto individua tre ambienti di apprendimento in gran parte definiti dal comportamento degli insegnanti: ambienti di sostegno, ambienti ambigui e ambienti di non sostegno.

Nel capitolo vengono anche considerate le relazioni studente-insegnante e studente-studente, l'organizzazione e la gestione delle attività per favorire ambienti di apprendimento positivi, la programmazione delle lezioni per motivare ed interessare gli studenti e infine gli interventi disciplinari per trattare con chi si comporta in modo sbagliato.

La valutazione è una delle più sofisticate funzioni dell'insegnante ed è la forza che sostiene l'apprendimento. “la valutazione deve essere un'attività continua che è parte integrante del processo di insegnamento e apprendimento” (p. 8) perché “Gli studenti tendono ad essere più focalizzati durante la lezione se sanno quando e come saranno valutati sul materiale insegnato.” (p. 77).

La valutazione ha un ruolo importante anche quando l'insegnante pianifica e svolge una lezione di scienze. Scrivere gli obiettivi didattici di una lezione è un compito più semplice quando l'insegnante ha stabilito i criteri di valutazione della lezione. Attraverso la valutazione della propria lezione l'insegnante avrà reso esplicito ciò che gli studenti dovrebbero conoscere o essere capaci di fare alla fine della lezione. Si viene incoraggiati a preparare la lezione avendo in mente lo scopo, in modo da stabilire le condizioni per valutare gli studenti e il criterio per il successo.

Gli Autori discutono le quattro componenti essenziali che devono essere considerate quando l'insegnante valuta una lezione di scienze (La valutazione degli studenti viene trattata nel cap. 16). A pag. 84 è riportato un questionario per la valutazione della propria lezione che aiuta la preparazione di una lezione di successo. Questo capitolo 6 conclude la prima parte del volume. Caratteristica comune della prima parte sono le vignette che descrivono delle situazioni nella classe o nel laboratorio, inserite nel contesto della scuola e con le caratteristiche dell'insegnante. Queste vignette aiutano a comprendere e si integrano con il contenuto del capitolo.

La seconda parte sui fondamenti dell'insegnamento delle scienze si compone di tre capitoli: la natura della scienza; la composizione della classe nei suoi diversi aspetti; le teorie e le conoscenze utili all'insegnante per fare al meglio il proprio mestiere. Il capitolo 7 sviluppa vari temi della filosofia della scienza e aiuta a riflettere sul contenuto e sui metodi di ciò che viene accettato come scienza. L'insegnamento scientifico deve trattare di informazioni scientifiche autentiche ed è riportato un quiz sulla comprensione della natura e sui miti della scienza, piuttosto difficile da risolvere in modo corretto.

La diversa composizione della classe pone all'insegnante una sfida più impegnativa. La diversità degli studenti in sé stessa non influisce sul successo degli studenti nell'apprendimento delle scienze, ma spesso lo fanno i fattori connessi con tali diversità. Gli immigrati che non conoscono la lingua parlata, si trovano a dover superare difficoltà troppo grandi quando, oltre ad apprendere le scienze, devono imparare anche la lingua.

Il capitolo tratta degli studenti a rischio, del dibattito sull'universalismo e della visione femminista della scienza, delle disabilità fisiche e di apprendimento. Uno spazio è dedicato agli studenti più dotati e ai talenti. Si parla dello sviluppo dei talenti: nella scuola media e in quella superiore per gli studenti più dotati sono previsti dei programmi e delle opportunità per sviluppare le loro capacità. Forse questo è un aspetto poco considerato nella nostra scuola.

La ricerca sulla didattica delle scienze ha evidenziato l'importanza di ciò che lo studente conosce quando entra in classe e la necessità di considerare l'apprendimento come un processo attivo di coinvolgimento degli studenti nell'istruzione, piuttosto che il mandare a memoria in modo passivo delle informazioni.

Viene considerato l'approccio cognitivo per l'insegnamento delle scienze secondo il costruttivismo, l'importanza della motivazione e il processo di apprendimento secondo le teorie di Piaget. Il capitolo comprende il ragionamento analogico, i modelli e la visualizzazione, le concezioni scientifiche alternative e le strategie di insegnamento per favorire il loro cambiamento concettuale.

Si parla di apprendimento significativo e opportunamente di mappe concettuali. Le mappe concettuali possono aiutare gli studenti a rappresentare la conoscenza che stanno acquisendo e a visualizzare le relazioni significative tra i concetti. Le mappe concettuali possono essere usate in diversi modi [4-5] e possono essere costruite sia singolarmente che da un gruppo di studenti che magari apprendono in modo collaborativo.

Nei sette capitoli che compongono la terza parte vengono considerate le strategie utili per l'insegnamento delle scienze. È possibile trovare una felice sintesi di questi capitoli all'URL: http://www.wcsi.unian.it/educa/inglese/elc_review.html. Mi sia consentito un commento sul capitolo 13, il lavoro in laboratorio. "Il lavoro in laboratorio coinvolge gli studenti nell'apprendimento attraverso esperimenti di prima mano – interagendo con il fenomeno reale che viene studiato – non attraverso delle simulazioni." (p. 210) Inoltre, gli Autori suggeriscono Prelab e Postlab Discussion (p. 212-214), le stesse cose suggerite da Miles Pickering [6] e Alex Johnstone [7] sul laboratorio di chimica.

Rispetto alla quinta edizione pubblicata nel 2002 (337 pagine), questa nuova edizione risulta molto cambiata: è stata introdotta la prima parte e diversi capitoli rispetto all'edizione precedente sono stati riscritti e migliorati. In questa ultima edizione, alcuni capitoli sono stati rivisti per renderli conformi con le linee guida federali perché agli insegnanti è richiesto di dimostrare le proprie abilità e la conoscenza in relazione allo Standard for Science Teacher Preparation.

Ogni capitolo offre numerose opportunità di riflettere sulle possibili applicazioni nella pratica in classe. Ogni tanto si trovano riquadri "Stop and Reflect!" che stimolano a pensare criticamente e incoraggiano a contestualizzare ciò che si è imparato. Si trovano esperienze da proporre in classe e ogni capitolo si conclude con una sezione "Assessing and Reviewing" organizzata in tre categorie: analisi e sintesi, considerazioni pratiche e considerazioni per lo sviluppo. Gli Autori suggeriscono le "Risorse da esaminare" e tutto il volume è arricchito da numerosi riferimenti bibliografici molto pertinenti. Il manuale, già molto valido nella quinta edizione ora è diventato un testo superlativo e direi anche indispensabile per chi inizia la complessa professione dell'insegnare. La prima parte è una risorsa preziosa per chiunque voglia insegnare al meglio e in modo professionale; confesso di aver imparato molto dalla lettura dei primi 6 capitoli e credo che possano essere proficuamente utilizzati da tutti gli insegnanti, dalle scuole materne all'università.

Bibliografia e note

1. L.S. Shulman, *The wisdom of practice. Essays on Teaching, Learning, and Learning to Teach*, S.M. Wilson (Ed.), Jossey-Bass, San Francisco, CA, 2004, p. 203.
2. L.S. Shulman, Knowledge and Teaching. Foundations of the New Reform, *Harvard Educational Review*, **1987**, 57, 1-22, p. 8.
3. H. Patrick, J.C. Turner, D.K. Meyers, C. Midgley, How Teachers Establish Psychological Environments During the First Days of School: Associations With Avoidance in Mathematics, *Teachers College Record*, **2003**, 105, 1521-1558.
4. M.A. Ruiz-Primo, R.J. Shavelson, Problems and issues in the use of concept maps in science assessment, *J. Res. Sci. Teach.*, **1996**, 33, 569-600.
5. Y. Yin, J. Vanides, M.A. Ruiz-Primo, C.C. Ayala, R.J. Shavelson, Comparison of two concept-mapping techniques: Implications for scoring, interpretations, and use, *J. Res. Sci. Teach.*, **2005**, 42, 166-184.
6. M. Pickering, Lab is a Puzzle, not a Illustration, *J. Chem. Educ.*, **1985**, 62, 874-875.
7. A.H. Johnstone, Chemistry Teaching—Science or Alchemy?, *J. Chem. Educ.*, **1997**, 74, 262-268.

Verifica e valutazione nei processi formativi

Materiali per la formazione dei docenti di area scientifica

A cura di **Guido Benvenuto**

Quaderni della SSIS del Lazio

Indirizzo Scienze naturali

Edizioni Nuova Cultura, 2007, pp 360, ISBN 886134115-2

ENRICO MANSUETI

ITIS M.O.V.M. "Don Giuseppe Morosini" Ferentino, enrico.man@libero.it

Il progetto, coordinato dal curatore e dal direttore dell'indirizzo Scienze Naturali della SSIS, prof. Eugenio Torracca (autore anche della prefazione) affronta il tema della valutazione scolastica, evidenziando fin dalle prime righe come esso sia sempre stato al centro dell'attenzione e fonte di preoccupazione da parte di studenti e docenti. Forse per le difficoltà che gli insegnanti incontrano nel valutare con giudizio e trasparenza, o perché dietro la valutazione si celano diversi punti di vista e modi di intendere la scuola, oppure semplicemente perché si è chiamati ad esprimere livelli di misurazione su elementi e dimensioni difficilmente misurabili. Sta il fatto che la valutazione, vale a dire quel processo che consiste nel dare valore (giudizi qualitativi o misure quantitative) a determinati aspetti relativi all'apprendimento degli studenti, mette la categoria a dura prova. Il volume è nato con il preciso intento di raccogliere contributi, materiali e riflessioni che riguardano la tematica della valutazione scolastica. Essi sono stati pensati e messi a punto per la formazione iniziale degli insegnanti nella Scuola di Specializzazione all'Insegnamento secondario del Lazio (SSIS). La raccolta di materiali per la formazione si rivolge quindi a tutti i docenti in formazione iniziale, a quelli in servizio, ma anche a chi opera nella formazione professionale (e in particolare nell'obbligo formativo) per discutere di tematiche comuni e per rendere conto di alcune prassi particolarmente dibattute nell'ambito della formazione SSIS. Inoltre, il volume si rivolge ai docenti stessi della scuola di specializzazione che, nelle diverse aree formative (metodologico-didattica, disciplinare, laboratoriale, tirocinio), promuovono forme di integrazione tra dimensioni disciplinari e aspetti metodologici, tra teoria e prassi. Il confronto di posizioni e procedure e la conoscenza dei reciproci punti di vista favorisce, infatti, l'integrazione tra dimensioni formative e quell'ottica interdisciplinare indispensabile alla professionalità del docente. I materiali che si offrono nel volume sono il frutto dei "laboratori" formativi nei quali insegnanti e specializzandi hanno lavorato nella co-costruzione di strumenti e nell'allestimento di fasi valutative da sviluppare in progetti didattici. L'interazione che si è realizzata ha portato all'elaborazione di lavori di validità tale che, sebbene potessero trovare posto in una raccolta da utilizzare nei cicli successivi della SSIS (come in parte è avvenuto e probabilmente avverrà ancora) ne ha anche permesso l'inserimento in questo progetto organico sulla valutazione scolastica messo a punto dal curatore (che da anni si occupa con successo di questi aspetti). La tematica della valutazione a scuola si intreccia con quella della progettazione curricolare e didattica e interessa complessivamente la riflessione sulla qualità dell'offerta formativa e dei risultati dell'istituzione scolastica. Ecco perché le verifiche, che abbiano la forma di test o di prove più aperte, i giudizi, i voti ecc. sono pane quotidiano delle didattiche scolastiche, ma al tempo stesso fonte di preoccupazione per docenti e studenti. Ma perché la valutazione è sempre stata una "criticità" nella scuola? A dirla in breve, perché è un'azione complessa che richiede professionalità, interagisce con i diversi livelli della progettazione dell'offerta formativa e riguarda, con differente intensità, tutti gli attori del processo di istruzione: famiglie, studenti, docenti, istituti scolastici.

Ed è proprio in ragione della sua complessità che si richiede una specifica professionalità "valutativa", sintesi di conoscenze teoriche, esperienze e sensibilità individuale. Oggi il docente è chiamato ad affrontare una crescente varietà di compiti valutativi: verificare gli apprendimenti disciplinari, valutare le dimensioni e le caratteristiche socio-psicologiche degli allievi, partecipare all'autovalutazione della scuola, nonché alla prevista valutazione del sistema nazionale. E mentre il docente valuta e partecipa ai diversi livelli valutativi, contribuisce, nel bene e nel male, alla formazione di principi auto-valutativi per gli studenti (che influenzano in modo determinante l'atteggiamento degli studenti verso il sapere e la scuola). Per affrontare e gestire i diversi livelli di valutazione che oggi le istituzioni scolastiche richiedono, un docente competente dal punto di vista delle tematiche valutative dovrà quindi disporre di adeguati strumenti, teorici e pratici. La messa a punto di una competenza valutativo/docimologia per i docenti, sia da un punto di vista individuale sia collegiale, prevede un bagaglio esperienziale che si fondi su solide basi teorico-riflessive,

che disponga di repertori pratico-operativi (il docente dovrà saper maneggiare i diversi formati valutativi) e che utilizzi strumentazioni informatico-tecnologiche per sviluppare più ampi livelli di confronto e comunicazione.

Il volume è pensato e organizzato come una sorta di “guida” per affrontare distinte problematiche e fasi valutative e per accompagnare i docenti, in formazione e in servizio, nella valutazione scolastica. La formazione e maturazione di una competenza professionale “valutativa” è tra i compiti delle scuole di specializzazione per l’insegnamento. Si tratta, ovviamente, di una competenza che si affina e aggiorna soltanto con l’esperienza sul campo.

Il volume è organizzato in due parti.

Nel primo capitolo si affronta la tematica della valutazione da un punto di vista introduttivo e generale. Si discutono i “fondamenti” della valutazione scolastica: le funzioni, i tempi, gli oggetti, gli attori e i formati valutativi. Nel secondo capitolo si contestualizza la competenza valutativa all’interno del profilo professionale dei docenti e dei percorsi di formazione che le SSIS prevedono. Nel terzo capitolo si analizzano gli items utilizzati e i principali risultati relativi all’indagine OCSE-PISA 2003 (per la matematica). La stessa indagine è oggetto di analisi nel capitolo quattro, in merito alle prove di comprensione relative alla lettura di testi scientifici.

Nella seconda parte, la più voluminosa del testo, tutti i contributi sono specifici rispetto alle problematiche valutative che affronta un docente di area scientifica, difatti raccolgono esemplificazioni provenienti da indagini internazionali e dall’esperienza presso l’indirizzo di Scienze Naturali della SSIS del Lazio (principalmente, ma vengono proposti contributi di specializzandi che hanno completato la loro formazione in altre SSIS regionali). In particolare si affrontano i temi della costruzione, valutazione e revisione di quesiti strutturati (capitolo 5) e semistrutturati (capitolo 6). Si analizza il processo di costruzione di prove di verifica (capitolo 7) unitamente alla fase di valutazione dei risultati dello studente (capitolo 8). Colloqui (capitolo 9) e relazioni di laboratorio (capitolo 10) sono gli argomenti che precedono la tematica della valutazione progettuale (capitolo 11). Il testo si chiude analizzando i diari di bordo, come strumenti di autovalutazione per il docente ma anche e soprattutto in relazione alla valutazione degli apprendimenti degli allievi (capitolo 12).

Per ciò che concerne la didattica della chimica il testo ha un particolare significato, sottolineato dal numero ma soprattutto dalla peculiarità dei lavori dedicati (significativi assi portanti già dalla fase di progettazione del volume); l’analisi dettagliata di una interrogazione (pag 273), dimostra che una prova di verifica valida deve essere sintesi di una efficace raccolta dei risultati non disgiunta dall’analisi dei processi che a questi risultati hanno portato. La valutazione mediante prove semistrutturate fa riflettere sui problemi ma anche sulle potenzialità della didattica laboratoriale (pag 304), soprattutto quando applicata ad attività particolarmente complesse come quella presentata sulla ricerca dei Perborati in uno sbiancante; nel dibattito seguito alla presentazione (di parte) del lavoro al Congresso della divisione didattica di Genova 2007 è emerso chiaramente che la varietà degli apprendimenti prodotti/producibili da una prova di questo tipo non sarebbe altrimenti apprezzabile con gli strumenti tradizionali, a meno di ri-cadere nei tipici errori che spesso affliggono la valutazione dell’attività di laboratorio (di cui si fa un’analisi dettagliata nella prima parte del capitolo 10). Struttura atomica e mole sono invece gli interventi alla base della costruzione del diario di bordo presentato alla fine del testo (pag 344); confronto tra vecchia e nuova didattica, analisi di errori ed elementi di novità permettono di capire che la base di una strategia efficace deriva in primo luogo dalla connessione di accorgimenti operativi che funzionano; qui l’autore compie la sua seconda metamorfosi pedagogica (da docente a docente specializzato, dopo che la prima era stata da studente a docente).

Bibliografia

1. G. Benvenuto, Mettere i voti a scuola, Introduzione alla docimologia, Roma, Carocci, 2003.
2. G. Domenici, Manuale della valutazione scolastica, Roma-Bari, Laterza, 2001.
3. G. Domenici, Le prove semistrutturate di verifica degli apprendimenti, Torino, Utet, 2005.
4. M. Lichtner, Valutare l’apprendimento: teorie e metodi, Milano, Franco Angeli, 2004.
5. B. Vertecchi, Manuale della valutazione, Milano, Franco Angeli, 2003.