
Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

CnS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA



ITIS "A. Volta" Lodi

I VENT'ANNI DI CnS

**REAZIONI OSCILLANTI
PREISTORIA E STORIA**

**CHE IDEA HANNO
DELL'ENERGIA
I RAGAZZI DELLA MEDIA?**

**IL POTENZIALE
FORMATIVO
DELLA CHIMICA**



Anno XXI
Marzo - Aprile 1999

Direttore responsabile

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

Redattore

Pasquale Fetto
Dipartimento di Chimica "G.Ciamician"
Via Selmi, 2 - 40126 Bologna
Tel. 051/259521 - fax 051/259456
E-Mail: fpcns@ciam.unibo.it

Comitato di redazione

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

Comitato Scientifico

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

Editing

Documentazione Scientifica Editrice
Via Imerio, 18 - 40126 Bologna
Tel. 051/245290 - fax 051/249749

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

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

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

Ufficio Abbonamenti

Manuela Mustacci
SCI, Viale Liegi, 48/c - 00198 - Roma
Tel. 06/8549691 fax 06/8548734
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

GRAFICHE RECORD snc
S. Giorgio di P. (BO) - Tel. 051/6650024

SOMMARIO

EDITORIALE

I vent'anni di Cns

La "preistoria" della Chimica nella Scuola **33**
di *Paolo Mirone*

Nascita e primi passi della Chimica nella Scuola **34**
di *Luca Benedetti*

I corsi di perfezionamento in didattica della chimica nell'Università di Modena - Rinnovo nella continuità **35**
di *Giovanna Gavioli*

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Per ridefinire il potenziale formativo della disciplina chimica **37**
di *Fausta Carasso Mozzi, Maria Grazia Tollot*

Preistoria e storia delle reazioni chimiche oscillanti **40**
di *Rinaldo Cervellati*

Un percorso didattico di chimica nel nuovo corso di laurea per maestri **47**
di *R. Carpignano, D. Lanfranco, G. Manassero, T. Pera, L. Maurizi, R. Terzaghi*

ESPERIENZE E RICERCHE

L'energia-Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica Parte I - Il campo semantico dell'energia **53**
di *Gianni Condolo, Ezio Roletto*

RUBRICHE

Libri ricevuti **39**

UNO SGUARDO DALLA CATTEDRA **64**
La routine e il didattichese
di *Ermanno Niccoli*

Forum delle Associazioni Disciplinari **64**
Documento sulla trasversalità

Sito Internet S.C.I. <http://sci-chim.dim.uniroma3.it>

I VENT'ANNI DI *CnS*

Il primo numero della nostra rivista reca la data del gennaio 1979. La Conferenza Nazionale sull'Insegnamento della Chimica, svoltasi a Bologna dal 16 al 18 dicembre 1998, ha dedicato alla ricorrenza dei vent'anni dalla nascita di CnS parte dell'ultima giornata. Ci è sembrato opportuno pubblicare come editoriale del presente numero un'ampia sintesi degli interventi pronunciati in quella occasione dal direttore della rivista e dai professori Luca Benedetti, che collaborò strettamente con Gianfranco Fabbri alla redazione di CnS nei primi anni di questa, e Giovanna Gavioli, che curò particolarmente la progettazione e l'organizzazione del primo corso di perfezionamento in didattica della chimica, corso che fu la matrice da cui nacque poi La Chimica nella Scuola.

LA "PREISTORIA" DELLA CHIMICA NELLA SCUOLA

Festeggiare i vent'anni di vita di *CnS* è per me motivo di grande soddisfazione. Innanzi tutto perché questo evento ci offre l'occasione per ricordare un caro amico e collega, Gianfranco Fabbri, al quale si deve la fondazione della rivista. In secondo luogo perché chi vi parla, avendo seguito da vicino, a vario titolo, tutte le fasi della vita della rivista, e ricordando le diverse traversie che l'hanno contrassegnata, deve confessare che sono stati numerosi i momenti in cui non avrebbe scommesso molto sulla sopravvivenza di *CnS* fino ad oggi.

Poiché altri parleranno dei primi anni di vita di *CnS* e del contesto in cui essa nacque, io mi soffermerò sul decennio che precedette la sua fondazione e che può essere considerato come la sua preistoria. Infatti in questo periodo Fabbri prese alcune iniziative che dimostrano come egli andasse già maturando il progetto di un giornale di didattica chimica e cercasse le vie per attuarlo.

Nel 1969 Fabbri ottenne dal Consiglio Nazionale delle Ricerche un contratto per "l'impostazione della realizzazione di una pubblicazione di didattica della chimica". In attuazione di questo contratto, il cui importo non mi è noto ma certamente doveva essere piuttosto modesto, nel 1970 Fabbri condusse come atto preliminare un'indagine "sullo stato dell'insegnamento della chimica nelle scuole preuniversitarie e sulle caratteristiche che [avrebbe dovuto] presentare una rivista di didattica chimica". Lo strumento per l'indagine fu un questionario, inviato nel giugno 1970 a tutti i docenti e assistenti di materie chimiche delle Università italiane. Su 1280 questionari recapitati si ottennero 414 risposte, pari al 32,3%.

I principali risultati emersi dalle risposte si possono così riassumere:

1) La preparazione in chimica posseduta dai giovani licenziati dalle scuole preuniversitarie era considerata in media assolutamente insufficiente dal 27%, insufficiente dal 51%, appena sufficiente dal 16% e buona da meno dell'1% delle risposte.

2) Fra le cause di preparazione non soddisfacente, il 76% delle risposte indicava l'insufficiente qualificazione degli insegnanti, il 44% l'insufficienza di mezzi didattici (labora-

tori, ecc.), il 43% l'inadeguatezza dei programmi, il 34% lo scarso numero delle ore di insegnamento (era possibile indicare più cause).

3) Alla domanda se "un mezzo di informazione e di orientamento didattico dedicato specificamente ai docenti di chimica delle scuole preuniversitarie" avrebbe potuto contribuire a un miglioramento dell'insegnamento della chimica, rispondeva positivamente il 91% dei questionari, negativamente il 6%.

Dunque la grande maggioranza dei chimici universitari che avevano risposto all'inchiesta di Fabbri – cioè quasi un terzo del totale – era consapevole dello stato lamentevole in cui versava l'insegnamento secondario della chimica nel nostro paese e delle cause di tale situazione. Eppure nessuno di loro aveva preso qualche iniziativa per affrontare alla radice il problema, o almeno per sollecitare la Società Chimica Italiana ad agire in tal senso. Che dire poi dei due terzi che non fecero neppure lo sforzo di rispondere a un questionario di otto domande? Le risposte possibili sono solo due: o non erano informati della situazione, oppure ritenevano che il problema non li riguardasse in alcun modo. In entrambi i casi bisogna riconoscere che essi mostrarono di avere una visione ben limitata degli interessi della propria disciplina.

I risultati dell'inchiesta non furono pubblicati su *La Chimica e l'Industria*, che sarebbe stata la sede più idonea alla loro divulgazione, ma sugli *Annali della Facoltà di Agraria dell'Università Cattolica del Sacro Cuore* [1], Facoltà dove Fabbri teneva allora il corso di Chimica generale e inorganica. Sulle ragioni della scelta di questo organo di stampa si possono fare varie ipotesi: lunghezza dell'articolo (circa 30 pagine degli *Annali*), previsione di un tempo troppo lungo per la pubblicazione su *La Chimica e l'Industria* o, più verosimilmente, disinteresse da parte della Direzione di quest'ultima.

Tuttavia nel 1972, cioè due anni dopo l'inchiesta di Fabbri, *La Chimica e l'Industria* pubblicò una sintesi della registrazione di una tavola rotonda sull'insegnamento della chimica nelle scuole medie superiori [2], alla cui organizzazione Fabbri aveva dato un contributo sostanzia-

le, come risulta dal ringraziamento particolare che gli viene rivolto nel preambolo. Alla discussione parteciparono, oltre a Fabbri, quattro professori universitari (A. Bargellini, G. Del Re, A. Liberti, P. Pino), sei insegnanti secondari (L. Bologna, E. Manfredini, B. Torelli e altri tre che preferirono rimanere in incognito), due studenti, l'esperto G. Gozzer, il direttore della *Chimica e l'Industria* (che in quell'anno era Federico Parisi) e i suoi redattori. La tavola rotonda toccò numerosi e svariati temi, dai programmi d'insegnamento al tipo di preparazione da fornire ai periti chimici per soddisfare alle esigenze delle industrie, dalla qualificazione degli insegnanti alla questione se l'insegnamento della chimica debba essere autonomo o abbinato a quello di altre materie, dai libri di testo e i loro errori all'utilità dei corsi di aggiornamento per insegnanti. In parte per questa folla di temi, in parte per l'alto numero dei partecipanti, la discussione non portò ad alcuna conclusione definitiva. Fabbri approfittò dell'occasione per rilanciare l'idea di un organo di stampa in collaborazione fra Società Chimica e Ministero della Pubblica Istruzione, ma la sua proposta non suscitò reazioni, a parte quella dello speaker della *Chimica e l'Industria* (presumibilmente il direttore), il quale commentò: <<...sarebbe consigliabile andarci piano, in un momento come questo, in cui i problemi editoriali sono gravi. E in ogni caso bisogna guardare con molta attenzione a certi "organi di stampa" che in molti casi sono comuni "organi di propaganda">>.

La Chimica nella Scuola nacque sette anni dopo come Bollettino del Corso di perfezionamento in Chimica ad indirizzo didattico, corso istituito dall'Università di Modena presso l'Istituto di Chimica fisica per iniziativa di Fabbri e di un piccolo gruppo di docenti dello stesso Istituto. Nacque quindi come iniziativa *locale*, e solo dopo quattro anni divenne organo della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana.

Ripensando alle vicende di *CnS*, si può concludere dicendo che Fabbri, insieme al piccolo gruppo di chimici modenesi che collaborarono con lui in quegli anni, mise in pratica, pur senza conoscerla, la massima "Pensare globalmente, agire localmente" che divenne poi il motto di molte organizzazioni di volontariato. E forse non è un caso che ancora oggi *La Chimica nella Scuola* si regga in larga misura sul lavoro volontario di molte persone, dal direttore all'impareggiabile redattore ai membri del comitato di redazione e ai numerosi e competenti revisori anonimi.

Paolo Mirone

1. G. Fabbri, L'insegnamento della chimica nelle scuole pre-universitarie, *Annali della Facoltà di Agraria dell'Università Cattolica del Sacro Cuore*, X (1970), 144-172.

2. Una "Tavola Rotonda" sull'insegnamento della chimica nelle scuole medie superiori, *Chim. Ind.*, 54 (1972), 451-459

NASCITA E PRIMI PASSI DELLA CHIMICA NELLA SCUOLA

Dopo quasi un decennio di proposte rimaste inascoltate Fabbri riesce finalmente a realizzare il suo progetto: far nascere una rivista, anzi la *rivista* di didattica chimica, dato che in Italia, al tempo, non esisteva l'analogo di numerose testate (soprattutto anglosassoni) dedicate alla didattica della chimica e più in generale delle scienze chimiche. E' nel 1979 che il primo numero de "La Chimica nella Scuola" vede la luce, caratterizzato da ciò che ho sempre chiamato un peccato originale, intendendo con affetto l'imprescindibile legame fra la natura della pubblicazione nascente e le esigenze anche tumultuose che emergevano in quel momento dalle attività di aggiornamento di docenti di scuola secondaria svolte da Fabbri e da un gruppo di colleghi/amici nel Corso di Perfezionamento in Chimica ad Indirizzo Didattico dell'Università di Modena. La Rivista apparve appunto come Bollettino del Corso, che nei primi anni registrava l'affluenza di diverse centinaia di partecipanti. Il "peccato originale" comportò fortunatamente l'indipendenza gestionale ed editoriale, il rifiuto fin dall'inizio di astrazioni accademiche ed impose l'esigenza di rapportarsi ai bisogni culturali dei docenti in carne e ossa (e cervello) che frequentavano il Corso.

34

A questo riguardo è illuminante l'editoriale del 1° numero del Gennaio 1979 a firma di G. Fabbri intitolato "E' un servizio "...E' appunto questo uno degli obiettivi che si

pone ora questo Bollettino, cioè quello di essere uno strumento con il quale realizzare un avvicinamento tra Università e scuola. In questo spirito esso avrà un senso ed un significato solo se potrà divenire un qualificato luogo di confronto e di discussione fra e con gli insegnanti;...in fase di progettazione abbiamo volutamente scartato l'alternativa di affidarci a mani esperte e qualificate. Ciò, fra l'altro, in quanto il forte peso finanziario che ne sarebbe derivato avrebbe condizionato in maniera sostanziale la libertà di impostazione...". La proprietà infatti rimase per i primi anni all'Università di Modena, per la stampa si utilizzarono i denari delle iscrizioni al Corso di Perfezionamento e dei primi abbonamenti, mentre il Comune di Modena finanziava il contributo di una segretaria di Redazione a tempo parziale. Non mancò ovviamente un'analisi iniziale della politica editoriale da perseguire in relazione anche alla pubblicistica esistente nel settore, in Italia (sostanzialmente gestita dalle Case Editrici) e all'estero, ben più affermata ma largamente sconosciuta e promossa comunque da storiche Società Chimiche nazionali. Questo atteggiamento comportò la creazione di un patrimonio che definirei durevole, come la costituzione di una biblioteca di periodici di didattica chimica e delle scienze, da analizzare, divulgare ed utilizzare come primo strumento per sviluppare la ricerca nella didattica chimica. La biblioteca tut-

tora esiste presso il Dipartimento di Chimica di Modena ed è consultabile, seppur ridimensionata nel numero di testate in abbonamento (oggi circa 20, le più diffuse a livello internazionale, rispetto alle originali 40).

A quel momento le scelte tematiche riguardo ai contenuti della rivista potevano orientarsi su una o su molte delle opzioni diverse che appunto comparivano di massima nella pubblicistica: la semplice divulgazione, l'analisi delle riforme via via proposte sui curricula e sui programmi, la formazione e l'aggiornamento dei docenti tenendo anche conto delle nuove (per allora) tecnologie educative, una generale riflessione critica sul ruolo, limiti e prospettive della Chimica e delle Scienze nell'insegnamento e nella società.

Il comitato di redazione e Fabbri soprattutto decisero di indirizzare e sollecitare i contributi alla rivista su quattro temi che definirei trasversali: la valutazione dell'insegnamento, la sua attualizzazione, la chimica e l'ambiente, la chimica e il saper fare. Si voleva in sostanza promuovere la cosiddetta "Chimica per il cittadino", la chimica finalmente percepita come parte indispensabile della cultura di base e la cui conoscenza incidesse sul *core* della fase educativa primaria e secondaria. Questo richiedeva un dibattito, che diventò scopo della rivista, su cosa insegnare, come, in quale maniera valutare il raggiungimento degli obiettivi della attività didattica, come far entrare la chimica quotidiana in uno schema interpretativo sufficientemente formalizzato ma per tutti.

La dimensione culturale così definita prevedeva alcune linee di sviluppo che, ritengo, la rivista tuttora persegue: la conoscenza delle esperienze internazionali, una proposta di riflessione storica e filosofica sulla scienza chimica, un approccio non convenzionale di argomenti ritenuti

"difficili", suggerimenti dettagliati di sperimentazione di laboratorio, aprire un dibattito su dove vogliamo andare e dove stiamo andando lungo il cammino delle riforme mai concluse.

Per rendere la concretezza di questa scelta editoriale prendo ad esempio alcuni articoli apparsi nei primi due anni di CnS; sul versante degli argomenti complessi, o ritenuti tali dai docenti del Corso di Perfezionamento, si intervenne con questi contributi: la termodinamica, fattore energetico e probabilistico nella reazione chimica, meccanica classica e quantistica, l'orbitale, la stereochimica, il legame covalente. Sul piano del saper fare in chimica si propose: il significato della misura in Fisica e in Chimica, misura di acidità, cromatografia, analisi chimico-fisica delle acque e indici d'inquinamento, l'elettrolisi.

Anche la Redazione modenese dovette inventarsi un *saper fare* appropriato per costruire materialmente i cinque fascicoli annuali. Quei primi numeri erano stampati su carta giallina, un vezzo estetico se si vuole ma che rendeva più leggibile il testo, battuto a macchina e assemblato con la colla con titolo e numero per ogni pagina prima della riproduzione. Le immagini di copertina venivano scelte da Fabbri e da chi scrive utilizzando nostre fotografie di oggetti e libri personali. Fabbri introdusse, fra i primi in Italia, la pagina bianca da staccare e compilare per la posta dei lettori, anche per utilizzare al massimo i sedicesimi di carta a disposizione.

Dal 1983 la Rivista diventa organo ufficiale della Divisione di Didattica chimica della Società Chimica Italiana e da allora la sua storia è storia di oggi.

Luca Benedetti

I CORSI DI PERFEZIONAMENTO IN DIDATTICA DELLA CHIMICA NELL'UNIVERSITÀ DI MODENA

Rinnovamento nella continuità

Nell'Anno Accademico 1973-74 l'Università di Modena, su proposta del Prof. Gianfranco Fabbri e dei colleghi Mirone, Rastelli, Andreoli, Benedetti, Grandi e Gavioli dell'Istituto di Chimica Fisica dell'Università, attivò il Corso di Perfezionamento in "**Chimica ad Indirizzo Didattico**", corso rimasto attivo fino all'A.A. 1982-83. La decisione di chiudere il Corso, che annualmente era frequentato da non meno di 100 perfezionandi, fu presa in seguito al Decreto ministeriale che toglieva a tutti i Corsi di Perfezionamento il riconoscimento del punteggio utile nelle graduatorie per l'insegnamento (1982), ma soprattutto a causa dell'esito della 1a tornata dei concorsi di idoneità a Professore Associato, che aveva fortemente penalizzato il gruppo in quanto le Commissioni non avevano tenuto in alcun conto questa attività didattica e di ricerca nella valutazione dei titoli.

La peculiarità del Corso attivato, fra i primi in Italia nel settore scientifico, consisteva nell'aver cercato di coniu-

gare le conoscenze pedagogiche e didattiche generali e di didattica disciplinare con i contenuti chimici. Si voleva, in altri termini, trasmettere al perfezionando la convinzione che un progetto di insegnamento richiede di stabilire gli obiettivi generali e disciplinari che si vogliono raggiungere, di definire le strategie da applicare e la scelta dei contenuti da sviluppare, di progettare le forme di valutazione che permettano di analizzare sia la validità del progetto che la qualità dell'apprendimento individuale e di classe; e infine di progettare la fase di recupero delle conoscenze. Questa proposta di struttura del Corso così innovativa derivava dal profondo convincimento di tutto il gruppo proponente che, per incidere significativamente sulla scuola secondaria, che si stava trasformando da una scuola d'élite a una scuola di massa, si dovesse gestire l'insegnamento come un'attività di ricerca didattica. Il Corso si concludeva con la preparazione e la discussione di un elaborato sviluppato su temi chimici di carattere generale

CnS - La Chimica nella Scuola

inseriti in un contesto interdisciplinare. Anche in questa fase il perfezionando era seguito dai docenti del Corso. Ha contribuito moltissimo all'esito positivo di questa esperienza l'impegno della Prof. Liliana Contaldi del Liceo Scientifico "A. Tassoni" di Modena.

La valutazione dell'efficacia di questa proposta didattica sul processo di apprendimento del ragazzo fu fatta dai proponenti con la collaborazione di Insegnanti in servizio che svilupparono nelle loro classi le unità didattiche così predisposte.

Oggi questo modo di concepire la programmazione didattica è comunemente accettato, ma :

- quanti sono gli insegnanti in grado di applicarlo?;
 - quanto l'Università contribuisce alla preparazione degli Insegnanti?;
 - in quale insegnamento del Corso di Laurea in Chimica vengono discussi i contenuti disciplinari necessari perché la chimica sia compresa dagli studenti delle Scuole Secondarie senza generare misconcetti, difficili da eliminare successivamente, e/o il rifiuto dello studio di questa disciplina?
 - quanti Corsi di Laurea dell'area scientifica, che hanno attivato anche l'indirizzo didattico, hanno fra i loro insegnamenti corsi di carattere pedagogico-didattico?
- Per supplire a queste carenze e alla richiesta di fornire

l'anno accademico successivo il Corso di Perfezionamento in **"Didattica della Chimica"**

Ambedue i Corsi sono strutturati in moduli di didattica generale e di didattica disciplinare. In questi ultimi sono proposti all'attenzione dei perfezionandi i temi che si ritengono punti nodali nell'insegnamento della disciplina. Quindi, nel Corso di Didattica della Chimica, si parte dal presupposto che le conoscenze di base della chimica siano già patrimonio culturale dei perfezionandi. La struttura del Corso è riportata in tabella dove è messa a confronto con la struttura dell'analogo Corso attivato nel lontano 1973.

E' interessante rilevare come le due proposte siano simili. L'attuale Corso di Perfezionamento si propone, infatti, di offrire ai Perfezionandi le conoscenze sia disciplinari che di pedagogia e di didattica generale e disciplinare ritenute necessarie per la strutturazione di un progetto didattico che tenga conto sia del singolo che della realtà classe in cui il progetto deve essere attuato.

Il Corso si conclude con un elaborato che deve contenere gli obiettivi generali e disciplinari del progetto didattico, le strategie attuative, le fasi di verifica sia della validità del progetto che dell'apprendimento del singolo e della classe e la proposta della fase di recupero se la verifica formativa è risultata insufficiente.

Tabella.1 Schema dei Corsi di Perfezionamento in Didattica della Chimica

<p>1) Didattica della Chimica Moduli: Pedagogia e Didattica generale Didattica disciplinare Chimica Generale e Chimica Fisica Chimica Inorganica Chimica Organica Aspetti analitici della Chimica Laboratorio didattico Seminari di carattere generale e/o interdisciplinare</p>	<p>2) Chimica ad Indirizzo didattico Moduli: Elementi di Didattica generale Didattica della Chimica Esercitazioni di Didattica della Chimica Complementi di Chimica Storia della Chimica Strumentazione didattica</p>
--	---

professionalità nel settore didattico è stata varata la legge 341/90 che prevede l'attivazione di Scuole di Specializzazione, abilitanti all'insegnamento, come corsi di studio universitario post-laurea e che demanda alla collaborazione fra le Università e la Scuola il compito di preparare culturalmente e professionalmente (tirocinio) i futuri docenti. Tale legge dovrebbe diventare operativa a partire dal prossimo anno accademico.

Per giungere preparata a questo importante appuntamento, la Facoltà di Scienze M.F.N. dell'Università di Modena ha deliberato di attivare, nell'anno accademico 1995-96 il Corso di Perfezionamento in **"Didattica delle Scienze per gli Insegnanti della Scuola Secondaria Inferiore"** e nel-

Ora, se si considera che ancor oggi i Corsi di Perfezionamento della Facoltà di Scienze M.F.N. dell'Università di Modena e Reggio Emilia sono definiti innovativi, rispetto ad altri attivati in campo nazionale, proprio per la strutturazione dei contenuti disciplinari in chiave didattica, è facile capire quanto fosse anticipatore dei tempi il progetto approntato nel 1973.

Pertanto, il contributo dato dal Prof. Fabbri per l'attivazione e la strutturazione del 1° Corso di Perfezionamento in Chimica è ancor oggi presente nell'impegno didattico del gruppo chimico di Modena che con Lui ha avuto inizio.

Giovanna Gavioli

PER RIDEFINIRE IL POTENZIALE FORMATIVO DELLA DISCIPLINA CHIMICA

Riassunto

L'autonomia scolastica, il riordino dei cicli, la riorganizzazione dei curricoli verticali, l'elevamento dell'obbligo pongono l'urgenza di una vigorosa modernizzazione e trasformazione della scuola e sollevano il problema di ridisegnare un sistema formativo in linea con i tempi.

La posta in gioco sembra essere il superamento dell'impostazione che tradizionalmente ha connotato la scuola e tuttora la caratterizza, che vede la formazione finalizzata alla "trasmissione" della cultura o di specifiche pratiche professionali, per un'impostazione tesa a produrre una formazione che porti a competenze e padronanze definite ma non definitive, suscettibili di ampliamenti e adattamenti.

E' in questa ottica che dovremmo discutere di chimica.

Definire, in questo senso, il potenziale formativo della chimica si configura come una operazione complessa e articolata essendo molti gli elementi che concorrono alla sua qualità. E', tuttavia, possibile ipotizzare delle direzioni preferenziali di riflessione. Il lavoro in atto vede ipotizzabili due piste di ricerca orientate a conseguire queste mete:

1. L'adozione di una concezione della disciplina-ricerca adeguata rispetto alla elaborazione epistemologica contemporanea.
2. Il passaggio dalla concezione della disciplina-insegnamento come ordinamento delle conoscenze alla concezione della disciplina come percorso dalle competenze alle padronanze.

1. RIFERIMENTI EPISTEMOLOGICI

Per articolare il problema di ridefinire il potenziale formativo della discipli-

(*)Centro Interfacoltà per la Ricerca Educativa e Didattica (CIRED) Università Cà Foscari - Venezia

(**) Liceo Scientifico "Majorana" Mirano VE

FAUSTA CARASSO MOZZI(*)
MARIA GRAZIA TOLLOT(**)

na chimica le questioni che proponiamo sono così formulabili:

Quale visione della costruzione della conoscenza si vuole assumere come riferimento? Come trasmetterla? Quale idea del sapere deve avere lo studente?

In altri termini: Quali riferimenti epistemologici? Quale organizzazione degli insegnamenti? Quale organizzazione degli apprendimenti?

Nella scuola attuale ci troviamo di fronte ad una corposa eredità culturale che ha codificato i prodotti della mente umana in discipline letterarie, linguistiche, artistiche, scientifiche e quest'ultime in discipline fisiche, chimiche, biologiche, naturalistiche, ecc. Essendo radicata in ogni campo disciplinare l'idea che ciò che si conosce sia il risultato dell'esplorazione e comprensione del mondo reale, di come stanno "veramente" le cose, si considera la conoscenza come un processo cumulativo e lineare nel quale il soggetto si rappresenta la realtà in modo sempre più fedele a partire dalle informazioni che da essa provengono.

E si stabiliscono categorie di saperi per descrivere la realtà.

Per di più la mente umana viene concepita come una struttura cui dare una forma assoluta e definitiva.

L'insegnamento nella scuola secondaria superiore ancora oggi si fonda sulla trasmissione dogmatica dei contenuti disciplinari; è una riproduzione di informazioni rigidamente organizzate che rendono l'apprendimento prevalentemente mnemonico.

Di conseguenza il sapere appare allo studente solo come conoscenza organizzata nell'ambito delle diverse discipline.

Le correnti filosofiche più recenti hanno elaborato una diversa visione

della conoscenza e hanno generato una nuova maniera di concepire l'approccio ai saperi delle discipline.

Se per secoli la conoscenza ha significato conoscenza dimostrata mediante la ragione o mediante l'evidenza sensibile, in quanto si riteneva che l'esperienza e l'osservazione fornissero il fondamento per tutta la conoscenza, e che la crescita della conoscenza fosse una accumulazione di nuovi contributi, oggi, si ritiene che la conoscenza progredisca attraverso la discussione critica di concezioni alternative.

Come afferma Lakatos (1), "l'esperienza ha un ruolo costruttivo delle strutture teoriche, come generatrice di famiglie di modelli, anche se non costitutivo di fondamento per una visione autoconsistente e completa del mondo, come ritenuto dalla tradizione".

Questa visione comporta un lavoro di analisi, a livello epistemologico, delle trame di teorie, dei paradigmi.

Lo strutturalismo, poi, evidenzia la natura composita dei sistemi e la necessità di destrutturare per indagare gli oggetti che costituiscono il mondo reale. I saperi non vengono più visti come insiemi di "verità" ma come "costruzioni" mutevoli in grado di dare senso a realtà complesse.

Tutto questo pone il problema di varcare e attraversare i confini di lingue, culture, tradizioni, istituzioni al fine di connetterle in modi non necessariamente vincolati dai rapporti storici.

Questa esigenza può, secondo Rossi, rappresentare un elemento di rinnovamento delle scuole: "il problema dei modi di attraversamento culturale" (quindi delle possibilità di dialogo inter-culturale) su cui lo strutturalismo ha giocato il suo paradigma scientifico, rimane tuttora aperto e vitale e non solo per le comunità scientifiche" (2).

L'epistemologia genetica, sorta sulle linee di pensiero della psicologia

cognitivista traendo apporti dalle concezioni biologiche attuali, offre altri contributi.

Maturana e Varela (3) delineano in questo modo la loro concezione nel testo "L'albero della conoscenza".

Ogni sistema vivente fa parte di un ambiente e con questo deve interagire per mantenere la sua integrità. I processi cognitivi e le conoscenze acquisite costituiscono il modo con cui l'organismo interagisce efficacemente con il proprio ambiente dando risposte adeguate alle perturbazioni che da questo derivano; in altri termini "il campo di interazioni che un sistema può avere con il proprio ambiente definisce il suo dominio cognitivo".

L' "elaborazione dell'informazione conduce a una buona soluzione del problema posto al sistema" se la realtà viene rappresentata attraverso schematizzazioni e simbolismi, eliminando quanto nel reale vi è di ridondante.

In particolare per l'essere umano il linguaggio porta a creare un insieme di modelli particolarmente utili nel rapporto con la realtà e a condividerli con gli altri nella comunicazione, cioè "ogni atto nel linguaggio, ci porta a contatto del mondo che creiamo con gli altri nell'atto della convivenza che dà origine all'essere umano".

Va notato che l'enfasi posta sull'aspetto cognitivo del linguaggio è molto vicina a quella espressa dal fondatore della disciplina chimica.

La costruzione del pensiero chimico viene descritta da Lavoisier nelle sue opere considerando il linguaggio come mezzo di espressione di idee e di immagini mediante segni ma anche come metodo per condurre il ragionamento: " *La logica delle scienze consiste essenzialmente nella loro lingua. Benché questa verità non sia nuova, benché sia già stata annunciata si è creduto necessario affermarla di nuovo perché essa non è sufficientemente diffusa.*"

(da Mémoire sur la nécessité de réformer et de perfectionner la nomenclature de la chimie, 1787, in Oeuvres, citato da L. Paoloni) (4)

Ne discende che la crescita della conoscenza viene vista come un arricchimento e riordinamento dei domini cognitivi, che i linguaggi corrispondono a differenti modellizzazioni del dominio fenomenologico e a differenti punti di vista a partire dai quali si costruiscono le categorie concettuali e i

metodi pratici per analizzare il dominio considerato, che le discipline non sono una serie di asserzioni ma un insieme di modelli correlati in vario modo al mondo.

L'insieme dei riferimenti epistemologici assunti connota il taglio dell'intervento didattico.

Facendo riferimento alle concezioni che abbiamo delineato ci sembra di aver individuato dei punti focali, costitutivi di un'ipotesi generativa di una nuova idea di formazione, una formazione vista come processo di partecipazione ai saperi e ai modi vita. Il messaggio di Lakatos, come lui stesso dichiara è di "rendere l'apprendimento dell'esperienza meno dogmatico possibile", cioè considerare che le costruzioni del sapere, per il loro carattere in fieri, non possono essere presentate come verità assolute, evitando così la retorica delle conclusioni. Significa avvicinare lo studente allo statuto epistemologico della disciplina modificando il tradizionale approccio ai saperi disciplinari e rendere più significativo l'apprendimento.

La lezione dello strutturalismo è di far apprendere a relazionare, comparare e utilizzare metodi e linguaggi diversi. Così si può sperare di superare la visione prevalentemente analitica dell'ottica disciplinare. Sarà più facile affrontare i problemi che si pongono e si devono risolvere nei sistemi complessi.

Ne deriva che per formare persone in grado di dominare la crescente complessità dei problemi che la società si trova ad affrontare, la scuola deve sviluppare competenze d'uso delle conoscenze in ambiti disciplinari o interdisciplinari; ciò vuol dire mettere in grado di padroneggiare competenze strategiche.

Dall'epistemologia genetica derivano altre considerazioni. Dato che la conoscenza è un processo costruttivo che parte dai modi individuali di interpretare la realtà materiale e sociale e da una incessante rettifica e messa a punto delle condizioni che fondano le identità; dato ancora che la modificazione è un processo auto-formativo dipendente dalla storia del soggetto, ne consegue che un apprendimento significativo non può che essere visto come una costruzione di estrema complessità realizzata dallo studente sulla base di stimoli forniti e organizzati dal docente, dipendente dalla struttura delle discipline, dalle conoscenze acquisite, dalle interazioni con

l'ambiente.

Queste nuove visioni portano ad intendere la formazione come orientamento della persona nel proprio rapporto con il mondo. La capacità di risolvere i problemi che il vivere sociale comporta dipende dall'adeguatezza dei modelli di cui si dispone e dalla padronanza nell'usarli. La comprensione di ciò che accade deriva dall'aver disponibili nella mente modelli adeguati o dal saperseli procurare. La loro efficace applicazione consiste nell'essere in grado di attivare i modelli più opportuni.

L'assunzione delle posizioni epistemologiche delineate porterà la didattica ad una organizzazione dei saperi e degli apprendimenti che evidenzierà questi aspetti :

1. l'operazione del conoscere serve a dare risposte ai problemi che l'ambiente pone
2. l'attività del conoscere ritaglia dal reale degli ambiti specifici e li delimita ; questo genera i saperi disciplinari
3. il processo del conoscere è una costruzione essenzialmente modellistica
4. la comunicazione esige l'utilizzo di linguaggi adeguati
5. le strategie conoscitive adottate ci rendono "esperti" nella soluzione dei problemi che la realtà pone.

Ne deriva che un rinnovamento dell'insegnamento della chimica, che si proponga di capire e far capire come tale disciplina sia pervenuta alla sua dimensione "esperta" attuale dovrà trovare risposte a queste domande :

1. quali problemi conoscitivi hanno fatto nascere e crescere la disciplina chimica ?
2. quale ambito conoscitivo domina ?
3. quali procedure operative usa ?
4. perché ha sviluppato e utilizza un linguaggio specifico ?
5. quali compiti si è assunta e risolve nella società con efficienza ed efficacia ?

2.ORGANIZZAZIONE DEI SAPERI E DEGLI APPRENDIMENTI

Riprendendo ciò che abbiamo delineato, l'assunzione del modello epistemologico classico, che considera la conoscenza come descrizione "oggettiva" del reale, ha portato fino ad oggi ad un insegnamento delle discipline, fra queste la chimica, che privilegia il modello lineare e cumulativo, che offre i propri saperi in gerarchie di concetti ed appiattisce l'apprendimento sulla scansione delle co-

noscenze. Tale insegnamento, affidato alla cultura e alle capacità organizzative ed espositive dell'insegnante porta a trasmettere blocchi di informazione standardizzati a studenti che devono farsi carico individualmente della riorganizzazione e rielaborazione delle informazioni.

Le recenti visioni epistemologiche che si basano sull'idea che la conoscenza è generatrice di modelli, che la struttura concettuale delle discipline si organizza in reti di conoscenze e che l'apprendimento è una costruzione personale, dinamica, sistemico-relazionale, inducono necessariamente a riorganizzare l'insegnamento e individuare modelli didattici tali da promuovere un insegnamento efficace e un apprendimento significativo. Questi modelli dovranno essere in grado di coniugare l'organizzazione dei saperi con l'organizzazione degli apprendimenti.

L'organizzazione dei saperi, a partire dalla conoscenza delle regole di costruzione e crescita della trama concettuale che sottende la disciplina, deve essere tale da saper individuare i nodi e le relazioni per cui la disciplina si pone come "esperta" nella conoscenza un dato ambito conoscitivo. L'organizzazione degli apprendimenti dovrà predisporre, in relazione ai vari profili formativi disciplinari e integrati del curriculum, i percorsi di apprendimento prevedendone le dinamiche, cioè le attività e le situazioni attraverso le quali lo studente può gestire e maturare i suoi processi cognitivi acquisendo reale padronanza dei vari campi di conoscenza.

Ciò vuol dire progettare compiti, fasi di lavoro e strategie opportune.

Gli insegnanti coinvolti in compiti nuovi devono modificare profondamente i loro comportamenti.

Nella fase di progettazione devono essere convinti che non basta sele-

zionare concetti, ma bisogna evidenziare 'modi di conoscenza': invece di informazioni confezionate devono essere preparate situazioni di apprendimento stimolanti e creative per i singoli individui.

In altre parole, poiché acquista importanza non solo definire quali conoscenze ma come farle acquisire, gli insegnanti devono saper rileggere le discipline per trovarvi i concetti e modulare i saperi in logiche appropriate.

In questo modo la conoscenza del reale posseduta dagli studenti potrà strutturarsi o ristrutturarsi in modelli consolidati di pensiero scientifico.

Naturalmente la fattibilità di questa progettazione sarà subordinata all'adozione di un modello didattico che permetta di coniugare le scelte dei saperi con quelle degli apprendimenti. Per l'attività didattica occorrerà l'adozione di una metodologia appropriata per porre il discente in una situazione dinamica, nella quale egli possa coniugare la conoscenza con l'esperienza, maturare il suo percorso di conoscenza, e acquisire attraverso la discussione e il confronto con le posizioni degli altri la dimensione sociale di una conoscenza condivisa.

In questa prospettiva l'insegnante assume il ruolo di educatore al servizio del soggetto, aiutando gli studenti ad attivare, adeguare e controllare le procedure di acquisizione e a dare contributi per un apprendimento cooperativo; a riflettere sui propri prodotti di apprendimento ed infine ad osservare i propri processi cognitivi sia per assumere consapevolezza del loro funzionamento sia per controllarli in modo sempre più attivo. Per facilitare lo studio l'insegnante deve prendere in considerazione le variabili individuali, i diversi stili cognitivi e i diversi modi di apprendere. Deve anche cambiare la tradizionale con-

cezione della valutazione ponendo la massima attenzione agli strumenti per l'osservazione sistematica e la verifica in itinere che gli consentono di seguire, diagnosticare e sostenere i progressi degli studenti.

La riorganizzazione sui due versanti dei saperi e degli apprendimenti nell'ambito della chimica consentirà, a nostro parere, di formare individui in grado di attribuire senso e significato a ciò che apprendono, porterà ad avere una immagine più chiara e densa di significato del pensiero chimico, a capirne la specificità e l'utilità, ad apprezzarne la fecondità non solo definire le conoscenze da trasmettere ma anche come farle acquisire, non solo conoscenze ma anche competenze e padronanze che li mettono in grado di prevedere "verso dove" orientare la loro esperienza.

Il sapere chimico sarà allora visto come una rete di modelli esperti che l'umanità ha ideato e utilizzato come strumenti economici non solo per conoscere, ma anche per trasformare la realtà.

Il compito della ricerca didattica chimica è quindi non solo di rendere palese lo statuto epistemologico della disciplina ma anche di assumere uno dei modelli che la ricerca psicopedagogica ha individuato per la didattica attiva, in modo che, nella futura articolazione dei moduli gli insegnanti possano realizzare questa coniugazione di saperi e apprendimenti.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Imre Lakatos (a cura di), "Critica e crescita della conoscenza" Feltrinelli Editore Milano, 1979
- 2 Paolo Rossi, "La Filosofia" Volume IV, Stili e modelli teorici del Novecento, Garzanti Editore Milano, 1996
- 3 Humberto Maturana, Francesco Varela, "L'albero della conoscenza" Garzanti Editore, Milano, 1987
- 4 Leonello Paoloni, Nuova didattica della Chimica, Bracciodieta Editore, Bari 1982



M.A. Floriano, R. Zingales; **Il laboratorio di chimica in classe - Didattica della chimica in azione.**

1 vol. di pag. 112. Tramontana, Casa Editrice Edibook S.p.A. - Milano. £. 8.000

PREISTORIA E STORIA DELLE REAZIONI CHIMICHE OSCILLANTI

Il mondo delle verità fisiche, come di quelle matematiche, è chiuso come una sfera. Ogni nuova visione, se è profonda, è una fuga da questa specie di prigione. Si possono avere resistenze a fuggire, oppure non se ne può vedere proprio la ragione.

RENATO CACCIOPPOLI
(matematico napoletano)

Abstract

Oscillating reactions are fascinating examples of complex phenomena in chemistry. Although the first observation of an oscillating chemical reaction in homogeneous phase was reported by the American chemist W.C. Bray in 1921, and the now most known Belousov-Zhabotinsky oscillating reaction was discovered around 1950 by the Soviet chemist B.P. Belousov, chemists began to take in consideration these reactions only towards the end of the 70s. This article illustrates the prehistory and the story of these discoveries, and discusses the resistance of the Academy to recognize observations that seem do not fit into existing theories. Brief biographical sketches of the scientists that were pioneers in studying oscillating reactions are also reported.

Riassunto

Le reazioni oscillanti sono esempi affascinanti di fenomeni complessi in chimica. Sebbene la prima osservazione di una reazione chimica oscillante in fase omogenea sia stata pubblicata dal chimico americano W.C. Bray nel 1921 e la reazione oscillante oggi più nota, quella di Belousov-Zhabotinsky, sia stata scoperta dal chimico sovietico B.P. Belousov attorno al 1950, i chimici iniziarono a prendere in seria considerazione queste reazioni solo verso la fine degli anni '70. L'articolo illustra la preistoria e la storia di queste scoperte e discute la resistenza dell'"Accademia" a riconoscere risultati che sembrano in contrasto

RINALDO CERVELLATI (*)

con le teorie consolidate. L'articolo riporta anche brevi note biografiche dei ricercatori che sono stati pionieri nello studio delle reazioni oscillanti.

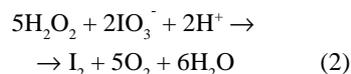
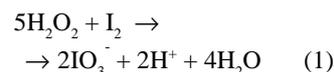
1. INTRODUZIONE

Le reazioni chimiche oscillanti fanno parte di quell'ampio insieme di fenomeni che vengono usualmente definiti *complessi* [1]. Una delle principali caratteristiche delle reazioni chimiche oscillanti è la variazione periodica delle concentrazioni degli intermedi o del (o dei) catalizzatore(i) nel tempo. Tuttavia, in certe condizioni, le reazioni, o meglio i sistemi chimici oscillanti, manifestano tutta una serie di comportamenti che vanno dalle oscillazioni aperiodiche, alla multistabilità, all'eccitabilità, alla formazione di onde spaziali di concentrazione, fino all'andamento "caotico". Ciò dipende dal fatto che la cinetica dei sistemi chimici oscillanti è governata da equazioni non lineari, che nel meccanismo di reazione sono compresi stadi autocatalitici (e/o autoinibitori), e che tali sistemi possono trovarsi, nelle stesse condizioni sperimentali, in due diversi stati stazionari quasi stabili, fenomeno questo noto come bistabilità. Inoltre, per manifestare comportamenti oscillanti, i sistemi chimici devono essere lontani dal loro stato di equilibrio. Sebbene il primo esempio di reazione chimica "oscillante" in fase omogenea sia stato riportato nel 1921, sono occorsi circa cinquant'anni prima che i chimici e i chimico-fisici si occupassero seriamente di questi fenomeni. Uno degli scopi di questo articolo è di spiegare perchè le "oscillazioni chi-

miche" in sistemi omogenei furono per molto tempo considerate come impossibili. Un altro scopo è quello di "raccontare" la storia delle scoperte e dei ricercatori che le fecero e credero nella genuinità dei fenomeni. Ci sono, nella storia della scienza, esempi più clamorosi di rifiuto di nuove scoperte, che apparentemente contraddicevano la "scienza consolidata", penso comunque che questo caso sia di particolare interesse perchè si riferisce a tempi relativamente recenti e non coinvolge argomentazioni di tipo religioso o metafisico.

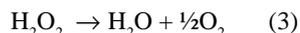
2. LA REAZIONE OSCILLANTE DI BRAY-LIEBHAFSKY

Anche se la reazione di Belousov-Zhabotinsky è la reazione oscillante più nota e studiata, la prima evidenza di oscillazioni chimiche in fase omogenea in soluzione fu riportata dal chimico americano W.C. Bray nel 1921 [2]. Dal 1916 egli, insieme al collega A.L. Caulkins, era impegnato nello studio del doppio ruolo del perossido d'idrogeno (acqua ossigenata) come agente ossidante e riducente. Le reazioni che essi studiarono furono l'ossidazione dello iodio a ioni iodato e la riduzione degli ioni iodato a iodio, ovvero:



entrambe le quali, come si può notare, coinvolgono la coppia redox IO_3^-/I_2 . Questa coppia fu scelta poichè i due ricercatori si aspettavano, in base a calcoli termodinamici, che essa

catalizzasse la reazione di dismutazione (decomposizione), del perossido di idrogeno:



(notare che la somma [(1) + (2)] è dieci volte la (3)).

Nell'estate del 1917, scrive Bray [2], "...poco prima che terminasse il lavoro con Caulkins, osservai per la prima volta uno strano fenomeno...", che fu appunto il principale oggetto dell'articolo poi pubblicato nel 1921 [2]. A quel punto era stato stabilito che:

a) la reazione (1) era marcatamente autocatalitica e procedeva rapidamente in soluzioni contenenti iodato e a concentrazione moderatamente elevata di acido (solforico);

b) la reazione (2) procedeva in modo relativamente lento anche nelle più favorevoli condizioni, e cioè a concentrazioni di H^+ molto basse (può sembrare strano visto che H^+ è un reagente, ma questo è il risultato ottenuto da Bray [2]);

c) che in tutti i casi scompariva più perossido di idrogeno di quanto ci si sarebbe aspettato in base alle equazioni (1) e (2), prova che tali reazioni dovevano essere accompagnate dalla decomposizione catalitica del perossido di idrogeno, via la reazione (3).

Il fenomeno interessante riportato da Bray fu l'osservazione che, a date concentrazioni di perossido d'idrogeno e iodato e nell'intervallo di concentrazione di H_2SO_4 compreso fra $> 0.055 \text{ N}$ e $< 0.110 \text{ N}$, l'ossigeno che si sviluppa aumenta non gradualmente, ma per impulsi ad andamento periodico (fig. 1).

Nel caso della curva IV ($[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.110 \text{ N}$) si notava una debole ma permanente colorazione gialla dovuta a iodio molecolare in soluzione. Nel caso della curva I ($[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.055 \text{ N}$) fu pure notata formazione di iodio con un incremento della colorazione della soluzione nel tempo.

Le curve II e III rappresentano i risultati ottenuti con concentrazioni intermedie di H_2SO_4 , rispettivamente 0.073 N e 0.0916 N . Mentre la prima parte delle quattro curve mostra lo stesso andamento con basso sviluppo di O_2 (tempo di induzione), la rimanente porzione delle curve II e III presenta un nuovo fenomeno, chiamato appunto da Bray - *periodicità*. Fu abbastanza facile per Bray spiegare que-

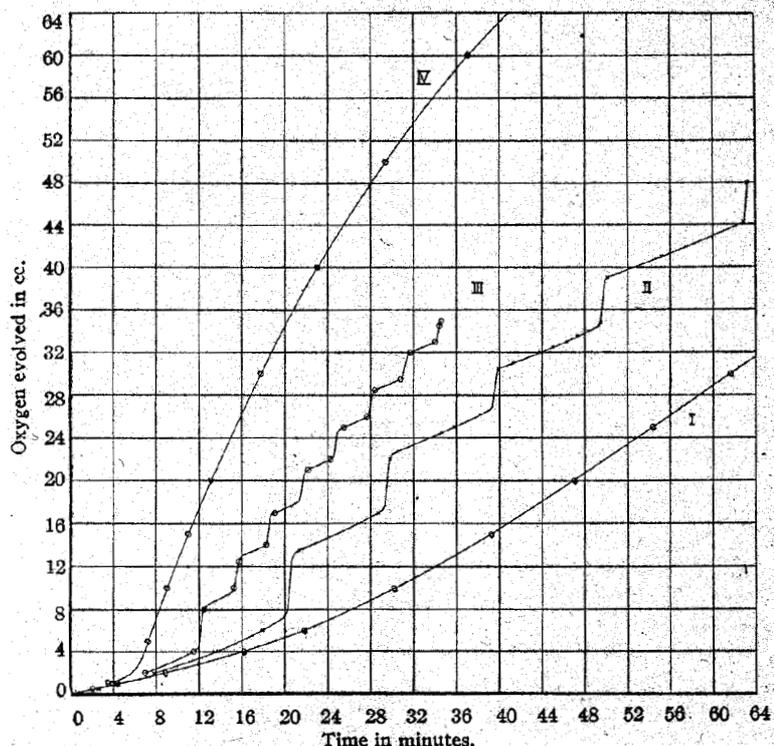


Fig. 1 Andamenti dell'ossigeno sviluppato (in mL) in funzione del tempo (minuti). Tratta dal lavoro originale di Bray[2]. Concentrazioni iniziali: $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0.190 \text{ M}$, $[\text{KIO}_3] = 0.095 \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4]$: Curva I = 0.055 N , Curva II = 0.073 N , Curva III = 0.0916 N , Curva IV = 0.110 N . Temperatura = 60°C

sto comportamento in base al fatto che l'ossigeno si sviluppa solo nella reazione (2): ogni periodo è infatti costituito da una porzione relativamente piatta della curva seguita da una porzione quasi verticale. Più difficile era trovare un'interpretazione dell'alternanza fra le reazioni (1) e (2) e chi fosse il responsabile del predominare dell'una o dell'altra. Bray notò anche che durante la prima porzione (quasi piatta, sviluppo lento di ossigeno) di ogni periodo il colore giallo dovuto allo iodio aumentava lentamente nel tempo, mentre durante la seconda porzione di ogni periodo (quasi verticale, sviluppo veloce di ossigeno) il colore giallo dovuto allo iodio diminuiva rapidamente. L'osservazione che il numero di periodi aumentava all'aumentare della $[\text{H}_2\text{SO}_4]$, mentre la durata di ogni periodo diminuiva di conseguenza, condusse Bray a ipotizzare che la curva IV fosse una sequenza di moltissimi periodi a bassissima durata e che la curva I avrebbe potuto mostrare, proseguendo l'esperimento per molto tempo, pochissimi periodi di durata lunghissima. Tutti questi esperimenti furono condotti alla temperatura di 60°C e sotto forte agitazione per impedire la supersaturazione dell'ossigeno.

A questo punto Bray sostiene di aver

individuato la prima reazione oscillante in fase omogenea in soluzione, nonostante il fatto che durante la reazione si sviluppano bolle di ossigeno. Questa assunzione [dell'omogeneità] è giustificata, dice Bray, dal fatto che nessuna evidenza è mai stata ottenuta che l'ossigeno gas influenzi la velocità di decomposizione del perossido di idrogeno (e cita un lavoro di Spear del 1908).

Per fugare ogni dubbio sull'omogeneità del sistema, Bray effettuò un esperimento per seguire il comportamento dello iodio a temperatura più bassa (25°C). In tali condizioni l'ossigeno si sviluppa così lentamente che esso diffonde fuori dalla soluzione senza la formazione di bolle. Il comportamento dello iodio fu seguito per via colorimetrica (con i colorimetri a disposizione nel 1917 !) e i risultati sono riportati nella figura 2.

E' evidente l'andamento oscillante della concentrazione dello iodio, **che fu seguita per circa 28 giorni !**

A questo punto non è molto chiaro il perchè Bray abbia atteso fino al 1921 per pubblicare questi risultati: può essere che il suo collega Caulkins fosse scettico sulla effettiva realtà del fenomeno che invece Bray ritenne (a ragione) fosse una caratteristica del

sistema. Non ci sono indizi su cosa effettivamente pensasse Caulkins, (che comunque successivamente pubblicò insieme a Bray un altro articolo, come vedremo). Tuttavia, all'inizio del suo articolo Bray dice che

neo (oscillazioni erano state osservate fin dal 1903 in sistemi eterogenei). Insomma l'impossibilità di fenomeni periodici in reazioni omogenee in soluzione era sostenuta da argomenti a carattere "empirico", piuttosto che

te luogo, ma ascrissero il fenomeno al trascinarsi di iodio da parte dell'ossigeno sviluppantesi. Tuttavia, come fecero poi notare Sharma e Noyes [7], essi non fecero i calcoli che avrebbero provato che lo iodio non avrebbe potuto essere rimosso abbastanza rapidamente anche se l'ossigeno fosse stato in equilibrio di saturazione con iodio cristallino. Peard e Cullis tentarono di mostrare anche che il volume finale di gas era più grande di quello dell'ossigeno che si sarebbe ottenuto dalla decomposizione del perossido d'idrogeno. Ancora una volta, Sharma e Noyes [7], mostrarono (con un punto esclamativo) che Peard e Cullis non avevano tenuto conto del fatto che l'ossigeno sviluppato contiene anche vapor d'acqua. Insomma, ancora nel 1951, non si voleva credere alla possibilità di fenomeni periodici in reazioni in fase omogenea in soluzione.

Liebafsky e il suo gruppo ripresero le ricerche sulla reazione di Bray (oggi nota come reazione di Bray-Liebafsky) nel 1969, dopo che Ilya Prigogine e collaboratori [8], nell'ambito dello sviluppo della termodinamica dei processi irreversibili, stabilirono che, in sistemi omogenei lontani dall'equilibrio, le "oscillazioni chimiche" sono possibili non contraddicendo il II Principio della Termodinamica.

Molti interessanti lavori furono effettuati da Liebafsky e collaboratori (oltre che da altri, come ad es. H. Degn) fra il 1969 e il 1975, sia sperimentali (con le tecniche sperimentali già avanzate in quegli anni) sia meccanicistici (lo sviluppo degli elaboratori elettronici permetteva di effettuare calcoli impensabili nei primi anni '30). Liebafsky e Wu [9] giunsero a proporre uno scheletro di meccanismo, i risultati della cui analisi furono definiti "incoraggianti anche se non conclusivi".

Il meccanismo della reazione di Bray-Liebafsky è stato elucidato in grande dettaglio da Sharma e Noyes nel 1976 [7].

3. LA REAZIONE DI BELOUSOV-ZHABOTINSKY

Nota introduttiva

Questa storia è in larga misura ripresa dall'articolo di A.T. Winfree: "The Prehistory of the Belousov-Zhabotinsky Oscillator" (J. Chem Educ. 61, 661-3, 1984), basato su

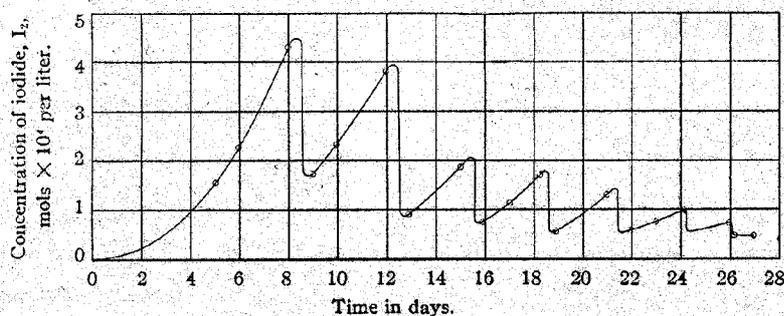


Fig. 2. Andamento della concentrazione dello I₂ (mol L⁻¹ × 10⁴) nel tempo (giorni). Tratta dal lavoro originale di Bray [2]. Concentrazioni iniziali: [H₂O₂] = 0.0327 M, [HIO₃] = 0.0090 M. Temperatura = 25 °C

“...l'interessante fenomeno fu osservato...appena prima che terminasse il lavoro con Caulkins.” [2]. E' interessante notare come i lavori di Lotka [3,4] su schemi di ipotetiche reazioni consecutive che conducevano ad andamenti oscillanti nella concentrazione di due intermedi X e Y, siano ampiamente citati nell'articolo di Bray. Scrive Bray: “Nell'esempio di Lotka il carattere autocatalitico della seconda di una serie di tre reazioni successive è un aspetto essenziale del meccanismo assunto, e sembra possibile che una spiegazione del caso presente possa essere trovata seguendo queste linee.”. Bray fa notare quindi che “...la reazione (1) è marcatamente autocatalitica, tuttavia...fino a che non vi siano ulteriori evidenze sperimentali, l'autore preferisce non discutere possibili meccanismi.” [2].

Il lavoro di Bray, pubblicato sulla prestigiosa rivista *Journal of the American Chemical Society*, fu accolto con generale indifferenza. Nel 1927, Rice e Reiff [5] sostennero che le oscillazioni non avevano luogo se si usava perossido di idrogeno accuratamente distillato per eliminare polvere e stabilizzanti, tuttavia essi non fornirono abbastanza informazioni per capire se avevano lavorato nelle stesse condizioni in cui Bray aveva osservato i fenomeni periodici. Molti sostennero l'ipotesi che, in qualche modo, o per la presenza di polvere o per altre cause, il sistema di Bray fosse in effetti da considerarsi eteroge-

nerdinamico (come avvenne nel caso della reazione di Belousov).

Bray riprese il lavoro sul suo sistema attorno al 1927, in collaborazione con Liebafsky: lo scopo era quello di investigare la cinetica di sottosistemi e di individuare possibili intermedi in grado di far passare periodicamente l'intero sistema dalla predominanza della reazione (1) a quella della reazione (2). Bray era ben consapevole che le due reazioni dovevano avvenire attraverso una sequenza di stadi e i tentativi andarono proprio nella direzione di individuare questi stadi. Fra il 1931 e il 1933 Bray e Liebafsky (in un articolo del 1931 figura Caulkins come coautore di Bray), poi solo Liebafsky, pubblicarono, sempre sul *Journal of the American Chemical Society*, una serie di 8 articoli sulla cinetica di sottosistemi delle reazioni (1) e (2): il risultato più importante, oltre alla determinazione di molte costanti di velocità, fu il riconoscimento che gli ioni I⁻ e specie ossiioduro dovevano giocare un ruolo importante nei meccanismi di reazione. Non fu tuttavia possibile individuare un meccanismo che rendesse conto delle oscillazioni nell'intero sistema (a quei tempi non esistevano tecniche strumentali per evidenziare la presenza di radicali liberi o altre specie molto reattive), sicchè Liebafsky si dedicò a ricerche in campi diversi dalla cinetica chimica.

Va notato che nel 1951, Peard e Cullis [6], pubblicarono un articolo in cui si ammetteva che le oscillazioni nel sistema di Bray avevano effettivamente

conversazioni che l'Autore ebbe con Anatol M. Zhabotinsky nell'estate 1983 durante una visita nella città di Puschino (ex-URSS), e da una intervista concessa recentemente dallo stesso Zhabotinsky al Prof. I. Hargittai, pubblicata sulla rivista The Chemical Intelligencer (July 1996, pp. 19-23, Springer-Verlag, New York).

Attorno al 1950 il chimico sovietico Boris Pavlovich Belousov (capo del Laboratorio di Biofisica del Ministero Sovietico della Sanità, secondo A.T. Winfree [10]; capo del laboratorio di chimica analitica di un Istituto di Ricerche Mediche, secondo A.M. Zhabotinsky [11]), particolarmente interessato alla biochimica, era impegnato nel tentativo di studiare il meccanismo catalitico del ciclo di Krebs. Il ciclo di Krebs è una parte fondamentale e universale del metabolismo cellulare di ossidazione dei residui acetilici a CO_2 nei mitocondri. Esso è chiamato "ciclo" non perché conduca a oscillazioni di concentrazioni nel tempo, quanto perché la sequenza di reazioni conduce a un ciclo, come accade ad esempio nei cicli geochimici (ciclo dell'azoto, dell'acqua, ecc.)

Per simulare in provetta il ciclo di Krebs, Belousov pensò di utilizzare come ossidanti gli ioni bromato in ambiente acido e come catalizzatore per l'ossidazione dell'acido citrico, lo ione metallico Ce(IV) anziché i complessi proteina-ione metallico che catalizzano il ciclo nelle cellule degli organismi viventi. Con molta sorpresa di Belousov, la sua simulazione chimica del ciclo di Krebs, e cioè una soluzione acquosa di acido citrico addizionata di una soluzione acidificata di bromato di potassio come agente ossidante e contenente ioni cerici, colorati intensamente in giallo, come catalizzatori, diventava incolore e tornava a diventare gialla periodicamente. Il fenomeno continuò per più di un'ora (a temperatura ambiente) mentre si sviluppava la CO_2 . Ciò mostrava chiaramente che la concentrazione degli ioni Ce(IV) , (come pure quella degli ioni Ce(III) , incolori), variava periodicamente nel tempo.

Belousov intraprese seri studi su questo "stravagante" fenomeno misurando, ad esempio, gli effetti della temperatura e dell'acidità sul periodo di oscillazione. Egli notò che la reazione smetteva di "oscillare" quando o l'ossidante (bromato) o il substrato orga-

Purtroppo la rivista di chimica (rusa) a cui Belousov inviò un primo dettagliato articolo nel 1951, lo rifiutò. L'articolo era corredato di fotografie della reazione a vari tempi, misurati da un cronometro e anche da registrazioni oscillografiche che mostravano dettagli degli andamenti oscillanti ad alta risoluzione. Era pure riportata l'evidenza di un gradiente verticale del periodo di un oscillatore locale in un cilindro graduato e la sua autoorganizzazione in strati orizzontali di colore alternato. L'editore della rivista gli scrisse che la sua "supposta scoperta" era praticamente impossibile perché "in contrasto con la teoria esistente" (apparentemente quindi senza neppure aver sperimentato la "ricetta") e che quindi l'articolo avrebbe potuto essere pubblicato solo se accompagnato da una dimostrazione che la teoria esistente (in particolare il II Principio della Termodinamica) fosse invalidata dalla scoperta. Nel 1951 Belousov aveva circa 57 anni.

La scelta di Belousov fu allora di tornare in laboratorio per effettuare ulteriori esperimenti al fine di decifrare con cura il meccanismo di reazione. Sei anni dopo Belousov sottopose

Boris P. Belousov: breve nota biografica. *Dall'intervista rilasciata da Zhabotinsky [11] si hanno alcune informazioni sulla vita di Belousov. Sembra che egli, nato attorno al 1890, fosse impegnato nel 1917 in alcune (non precisate) attività rivoluzionarie, per cui fu costretto ad espatriare. Si recò quindi a Zurigo e si iscrisse alla Facoltà di Chimica del Politecnico di quella città. Tuttavia, non avendo abbastanza denaro, non riuscì a terminare gli studi e a ottenere un diploma. Dopo la vittoria della rivoluzione sovietica, Belousov tornò in Russia e divenne un "chimico militare". In tale ruolo fece carriera raggiungendo forse il grado di maggior generale, e diventò, come già detto, direttore di un laboratorio chimico. Per molto tempo la mancanza di un diploma formale non causò alcun problema a Belousov, ma dopo la fine della seconda Guerra Mondiale le regole in URSS cambiarono e possedere un diploma formale divenne un fatto importante. Dato il suo notevole lavoro, il suo status di capo di un laboratorio fu confermato dalle autorità, ma forse la carriera scientifica di Belousov risentì di questa mancanza del diploma. Belousov era una persona schiva, non incline a fare amicizie, forse a causa del fatto che molti alti ufficiali suoi amici vennero giustiziati alla fine degli anni '30, durante le "purghe" staliniste. Boris P. Belousov morì nel 1973. Nel 1980 gli fu conferito, postumo, il Premio Lenin.*



Boris Pavlovich Belousov nel suo studio attorno agli anni 1956-58. Tratta da: A. T. Winfree, *J. Chem. Educ.*, **61**, 662 (1984)

nico (acido citrico) venivano rimossi, e ricominciava quando si riaggiungeva la sostanza mancante. Egli propose anche un tentativo di schema per il meccanismo di reazione. Il suo collega Safronov gli suggerì poi di perfezionare la "ricetta" sostituendo gli ioni cerici col complesso ferro-fenantrolina, che funzionava meglio sia come catalizzatore che come "indicatore" delle oscillazioni: la forma ridotta del complesso (ferroina, Fe(phen)_3^{2+}) è rossa, quella ossidata (ferrina, Fe(phen)_3^{3+}) è blu. In seguito fu osservato che si poteva efficacemente sostituire l'acido citrico con composti partecipanti al ciclo di Krebs o strettamente analoghi (ad es. l'acido malonico e suoi derivati variamente sostituiti).

uno studio ancora più dettagliato della reazione a un'altra rivista di chimica, sempre russa, ottenendo praticamente un altro rifiuto. Infatti l'editore gli raccomandò di accorciare l'articolo troncandolo fino alla forma di "lettera all'editore", cancellando le nuove e convincenti evidenze dell'esistenza del fenomeno oscillatorio. Decisamente infuriato, Belousov, allora sessantaquattrenne, decise di non pubblicare nulla e smise di occuparsi della sua scoperta. Conservò tuttavia i manoscritti originali degli articoli. Inoltre, stranamente ma fortunatamente, la "ricetta" per effettuare la reazione di Belousov circolò nelle Università e negli Istituti di ricerca di alcune città della Russia sovietica,

senza però che se ne conoscesse l'origine per molti anni.

Come si è detto, la "ricetta" di Belousov circolò nella Facoltà di Fisica dell'Università di Mosca e nell'Istituto di Biofisica dell'Accademia Sovietica delle Scienze nella città di Puschino. Ma sembrava che nessuno ne conoscesse l'origine.

Nel 1961 Anatol M. Zhabotinsky, dopo aver ottenuto il diploma universitario in biofisica presso l'allora nuovo e molto attivo Dipartimento di Biofisica¹ dell'Università Statale di Mosca, intendeva continuare gli studi e intraprendere ricerche per il dottorato in biofisica. Egli preparò un progetto di ricerca riguardante la risonanza biochimica, cioè il rafforzamento delle oscillazioni metaboliche causate da forze periodiche esterne, sulla base di alcune pubblicazioni che riportavano l'osservazione di oscillazioni smorzate nel processo della glicolisi enzimatica. Zhabotinsky presentò questo progetto al suo professore di biochimica, Simon. E. Schnoll, il quale trovò interessante il progetto, ma di difficile realizzazione per la mancanza delle necessarie apparecchiature e dei costosissimi enzimi. Schnoll gli suggerì piuttosto di occuparsi di reazioni chimiche oscillanti, in particolare di quella strana "ricetta" (che Schnoll sapeva essere di Belousov). Nella primavera del 1962 Zhabotinsky discusse i suoi risultati con Schnoll, e decise di inviare una copia di un manoscritto a Belousov prima di sottoporlo a una rivista per la pubblicazione. Belousov rispose con una lettera molto gentile, esprimendo la sua soddisfazione per lo sviluppo di quel suo lavoro originale e accluse una copia del suo manoscritto non pubblicato e una copia di un breve resoconto che aveva stampato nel 1959 in un volumetto dell'Istituto Medico in cui lavorava (secondo Zhabotinsky [11]) o negli Atti di un Congresso di medicina delle radiazioni tenutosi nel 1958 [12] (secondo Winfree [10]). Queste due paginette riportavano la "ricetta" con poche scarse congetture sul meccanismo di

reazione senza alcuna dimostrazione dell'attività oscillante e senza citazioni bibliografiche. Zhabotinsky ritrovò in una biblioteca il volume intitolato "Short Communications on Radiation Medicine" (in russo), contenente il resoconto di Belousov, inserì questa citazione nel suo manoscritto e lo inviò alla rivista russa *Biofizika*, che lo pubblicò due anni dopo, nel 1964 [13]. Nell'intervista già citata, Zhabotinsky dice di non aver avuto problemi per la pubblicazione e che il ritardo di due anni era comune a quei tempi, a meno di non conoscere qualcuno del comitato editoriale. A proposito del rifiuto degli articoli di Belousov, Zhabotinsky sostiene, nella stessa intervista, che, all'epoca, i chimici ritenevano che comportamenti oscillanti in sistemi omogenei fossero in contraddizione con il II Principio della Termodinamica, mentre i biofisici "erano inconsapevoli di ciò" e quindi non fecero alcuna difficoltà ad accettare il suo articolo in una loro rivista.

Nel suo primo lavoro Zhabotinsky, oltre a riprodurre i risultati di Belousov, modificò il sistema per renderlo più conveniente da studiare sperimentalmente e determinò alcuni stadi chiave del meccanismo di reazione. Successive ricerche lo condussero a proporre uno schema per l'ultima parte del meccanismo, ciò che fornì una interpretazione qualitativa della chimica coinvolta nell'intero meccanismo e individuò tutta una serie di substrati organici e catalizzatori che davano luogo a comportamenti oscillanti in presenza di bromato acido. Scrisse quindi un secondo articolo che fu pubblicato pure nel 1964 negli *Atti dell'Accademia Sovietica delle Scienze* [14] (in russo). In questo caso i tempi di pubblicazione furono rapidissimi (tre mesi) perchè, dice Zhabotinsky [11], il lavoro fu presentato da un noto chimico-fisico, Frumkin, facente parte dell'Accademia delle Scienze.

Zhabotinsky tenne costantemente informato per lettera Belousov dei progressi delle sue ricerche e tentò mol-

te volte di combinare un incontro, che però Belousov declinò sempre con diverse scuse. I due non si incontrarono mai.

Furono pubblicati su riviste russe almeno dieci articoli sulla reazione oscillante, da chimici e fisici russi, prima che ne comparissero un paio del biochimico danese H. Degn, uno dei quali sull'importante rivista inglese *Nature* [15].

Molte altre ricerche furono fatte e i risultati pubblicati, dopo il Congresso sugli Oscillatori Biologici e Biochimici, tenutosi a Praga nel 1968 a cui parteciparono Zhabotinsky e i suoi colleghi, ma non Belousov. Questo fatto fece sì che il nome "reazione di Zhabotinsky" diventasse comune nella letteratura scientifica occidentale e cambiò in *reazione di Belousov-Zhabotinsky* (**reazione BZ**) solo dopo alcuni anni. Come riportato nel riquadro, Belousov morì nel 1973, troppo presto per poter godere appieno del riconoscimento della sua principale scoperta. In seguito, il suo articolo rifiutato è stato stampato sia in russo sia in inglese su diverse riviste e libri specialistici [16].

Come hanno potuto i chimici e i chimico-fisici rifiutarsi di riconoscere l'esistenza di fenomeni chimici oscillanti per tanto tempo? Per quanto riguarda la reazione di Bray occorre riconoscere che il sistema non era facilmente riproducibile ed era quindi comprensibile per gli scettici considerare le oscillazioni come "accidenti" dovuti a impurezze di vario genere presenti in soluzione. E' più incredibile che si sia voluto chiudere gli occhi davanti a un lavoro così documentato come quello di Belousov. Ciò dipese probabilmente dal fatto che un sistema oscillante sembrò inizialmente un fenomeno che contraddiceva il II Principio della Termodinamica, secondo il quale l'entropia di un sistema isolato deve aumentare durante l'evoluzione spontanea di un processo. Pertanto, in base all'interpretazione classica di tale Principio, il verificarsi di una oscillazione implica che l'evoluzione spontanea del processo

¹Nel 1958, dopo il cosiddetto "disgelo" furono abbandonate in URSS le nefaste "prediche medioevali" di Lysenko, e la scienza "pura" tornò a rifiorire. In particolare all'Università di Mosca fu istituito il Dipartimento di Biofisica della Facoltà di Fisica. Molti influenti fisici, come Igor Tamm, favorirono l'iniziativa che avrebbe ridato corpo alla moderna biologia. Tamm riteneva che fosse più facile insegnare la biologia ai fisici che non la fisica ai biologi e per questo fu fautore dell'istituzione del Dipartimento di Biofisica nella Facoltà di Fisica. Anche molti studenti di fisica, fra cui Zhabotinsky, premettero per l'avvio dell'iniziativa.

Anatol M. Zhabotinsky: breve nota biografica. Nato nel 1939 da padre professore di fisica all'Università di Mosca, matura i suoi interessi nel campo delle oscillazioni proprio dal padre. Da bambino gli interessava la biologia ma, quando fu il momento di iscriversi all'università, le scienze biologiche (e non solo quelle) stavano vivendo, in URSS, un momento oscuro (è il periodo di Lysenko). Sicchè, nel 1955, Zhabotinsky si iscrisse a Fisica e, dopo la costituzione del Dipartimento di Biofisica, continuò gli studi in questo ramo. Diplomatosi nel 1961 fu dapprima destinato dalle autorità a lavorare in un Istituto Medico per il trattamento del cancro e, come biofisico, fu assegnato al reparto di radiologia. Nello stesso tempo decise di proseguire anche gli studi per il conseguimento del dottorato nello stesso Dipartimento di Biofisica dove aveva ottenuto il diploma. L'argomento delle sue ricerche fu, come sappiamo, lo studio dettagliato sperimentale e meccanicistico della reazione di Belousov. Mentre iniziò le ricerche riuscì ad avere il trasferimento a un altro Istituto di ricerche sui tumori, diretto da un esperto nel settore, Léon Shabad, che gli assegnò il lavoro di mettere a punto l'analisi degli idrocarburi ciclici negli scarichi delle automobili col metodo della fluorescenza, lasciandogli nel contempo piena indipendenza nel proseguire le ricerche per il dottorato. Gli ottimi risultati ottenuti da Zhabotinsky nella messa a punto del metodo di analisi per fluorescenza gli valsero l'apprezzamento di Shabad che gli concesse un piccolo laboratorio e tempo libero per le sue ricerche personali. Come studente di dottorato riuscì ad essere esonerato da una coscrizione militare destinata a giovani diplomati in scienze naturali e in discipline tecnologiche. Scrisse e pubblicò i suoi primi due articoli. Nel 1965 ottenne il dottorato di ricerca discutendo la dissertazione "Reazioni chimiche periodiche in fase liquida". Ottenne quindi un posto di ricercatore associato nell'Istituto di Fisica Biologica dell'Università di Puschino dove era stato trasferito il Dipartimento di Biofisica. Ciò fu un passo importante, poichè nel frattempo si era sposato ed era più facile trovare un appartamento a Puschino che non a Mosca. Dice dei suoi interessi di ricerca, nell'intervista rilasciata al Prof. Hargittai: "...il mio principale interesse di ricerca non era studiare le reazioni chimiche oscillanti di per sè stesse, ma piuttosto di utilizzarle per modellizzare processi biologici analoghi. L'argomento che più mi attraeva era la propagazione delle onde di eccitazione nel cuore. Tutti sanno che il normale funzionamento del cuore è controllato da onde di eccitazione molto lunghe propagantesi dal nodo seno-atriale. Esisteva [ed esiste] una teoria che attribuisce le più dannose aritmie cardiache all'insorgere di onde corte di eccitazione a spirale nel miocardio. Pochi credettero a questa teoria. Noi iniziammo a studiare onde chimiche in strati sottili di miscele in regime oscillante e constatammo la formazione di onde a spirale analoghe a quelle che insorgerebbero nel miocardio¹ ". Due anni dopo tornò a Mosca, dove trovò un nuovo lavoro al Ministero di Medicina Industriale, come capo del laboratorio di modellistica matematica. Qui svolse un interessante lavoro sulla regolazione biochimica degli eritrociti del sangue. I suoi interessi si rivolsero poi al tentativo di applicare la sua esperienza nei fenomeni oscillanti per il miglioramento della chemioterapia dei tumori. La scoperta per risonanza della divisione di cellule in seguito alla somministrazione periodica di farmaci antitumorali ad alta tossicità, consentì lo studio e lo sviluppo di più efficaci e meno tossici chemioterapici. Nel 1985 la burocrazia russa rese praticamente impossibile il lavoro nel Ministero e, nel 1989, Zhabotinsky riuscì a trovare un altro impiego al Centro Scientifico Nazionale di Ematologia dove sperò di poter applicare i risultati ottenuti in precedenza per il trattamento della leucemia. Si trovò invece a dover riorganizzare il Dipartimento e, quando finalmente divenne capo di un ampio ma disomogeneo Dipartimento, la Russia Sovietica era sull'orlo dello sfascio. Fortunatamente, nel 1991, Irving E. Epstein, notissimo sia come ricercatore sia come divulgatore dei fenomeni chimici oscillanti, gli offerse un posto di visiting professor per un anno alla Brandeis University nel Massachusetts, USA. Attualmente Anatol M. Zhabotinsky è professore aggiunto di chimica alla Brandeis University e il suo stipendio proviene essenzialmente da contratti. Dice nell'intervista che il fatto di non aver ancora un posto fisso è il suo unico cruccio. E' ritornato al suo iniziale campo di ricerca, le reazioni chimiche oscillanti, occupandosi soprattutto dello studio delle "onde" e delle "spiralì" chimiche, anche se spera, in un prossimo futuro di riprendere gli studi di cinetica biochimica. Anatol M. Zhabotinsky è persona assai modesta [come lo sono spesso i veri "grandi"]: alla domanda se è mai stato trattato come una celebrità ha risposto: "No. Come sapete, qui, nell'area di Boston, per la maggioranza della gente le squadre locali di basketball e di baseball, che non sono le migliori del Paese, significano molto di più che Harvard e il MIT messi insieme". L'intervistatore ha allora replicato: "Naturalmente. Ma io intendevo fra i chimici". Ecco la risposta di Zhabotinsky: "Qualche volta". Nel 1980 è stato insignito del Premio Lenin. I suoi primi lavori sono stati tradotti in inglese [16].

¹Molto recentemente Stephen K. Scott ha ripreso e spiegato questa interessante teoria e le sue analogie con le "spiralì chimiche" nell'articolo divulgativo "Chemical waves and heart attacks" comparso sulla rivista *Education in Chemistry*, **35**, 72 (1998)



Anatol M. Zhabotinsky a Puschino nel 1983. Tratta da A. T. Winfree, *J. Chem. Educ.*, **61**, 662 (1984)

si alterni con l'evoluzione inversa, durante la quale si scambiano i ruoli di stato iniziale e finale del sistema. Essendo l'entropia una funzione di stato, la sua variazione globale risulterebbe perciò nulla, in contrasto con il II Principio. Furono Ilya Prigogine e collaboratori [8] i primi a riconoscere che l'interpretazione classica richiede non solo che i sistemi siano isolati, ma anche che siano vicini al loro stato di equilibrio. Per sistemi isolati e prossimi all'equilibrio non sono perciò possibili comportamenti oscillanti, mentre per i sistemi lontani dall'equilibrio questi comportamenti sono possibili. Infatti la variazione nulla di entropia causata dalle variazioni periodiche nelle concentrazioni

degli intermedi è più che compensata dall'aumento di entropia dovuto ad altri processi che avvengono contemporaneamente e quindi la variazione totale di entropia del sistema isolato è sempre positiva, come richiesto dal II Principio.

Una spiegazione più rigorosa della precedente si trova nel libro *Termodinamica e Sistemi Complessi*, di A.M. Liquori [17].

Un meccanismo della reazione di Belousov-Zhabotinsky che rende conto in modo soddisfacente delle oscillazioni di intermedi e catalizzatore fu proposto nel 1972 da R.J. Field, E. Körös e R.M. Noyes [18], per il sistema bromato in ambiente acido/acido malonico catalizzato dalla coppia

Ce(IV)/Ce(III). Verso la fine degli anni '80 è stato messo a punto un metodo per l'individuazione sistematica di sistemi chimici oscillanti: sono oggi note molte "famiglie" di oscillatori chimici [19].

Quindi, dal 1970 a tutt'oggi le ricerche sulle reazioni oscillanti si sono moltiplicate in modo impressionante, al punto tale che vengono periodicamente pubblicate ampie reviews che tengono aggiornati i ricercatori sullo "stato dell'arte" in questo campo.

4. LE REAZIONI BIOCHIMICHE OSCILLANTI

Mentre i chimici e i chimico-fisici erano "intrappolati" da pregiudizi di natura empirica e teorica circa l'effettiva esistenza di fenomeni chimici oscillanti in sistemi omogenei, i biochimici e i biofisici ("inconsapevoli di ciò", come sostiene Zhabotinsky) andavano accumulando una notevole quantità di lavori sperimentali (nonché alcuni tentativi di spiegazioni meccanicistiche) su evidenze di oscillazioni nella concentrazione di intermedi e catalizzatori in sistemi biochimici.

K.F. Bonhoeffer, a partire dal 1943, analizzando le basi chimico-fisiche di ritmicità elettrogeniche con modelli neurali, volse l'attenzione alle condizioni generali necessarie per generare periodicità in complessi sistemi omogenei ed eterogenei e, nel 1948, affermò chiaramente che non vi erano fondamentali differenze fra sistemi omogenei ed eterogenei [20]. Bonhoeffer fece anche notare che i sistemi eterogenei erano più comodi per lo studio di fenomeni oscillanti, ma non più di tanto [20].

Furono pubblicati più di 150 articoli su riviste di biochimica, biofisica, biologia e fisiologia da biochimici e biofisici nel periodo primi anni '50, fine anni '60 [21].

E' ovvio che i fenomeni oscillanti nei sistemi biochimici sono certamente i più complicati da interpretare in termini di meccanismi di reazione, poiché sono coinvolti numerosi intermedi, fra i quali molte specie radicaliche, di difficile identificazione. Tuttavia va riconosciuto che gli studi sui sistemi biochimici oscillanti hanno preceduto e in certo modo anche favorito, le ricerche sui relativamente più semplici sistemi chimici.

Non insisterò molto su queste reazioni perché non sono un biochimico, mi limiterò a citare le più significative

i cui comportamenti oscillanti furono definitivamente accertati prima degli anni '70.

Una reazione biochimica molto studiata e senza dubbio la glicolisi enzimatica, che consiste nella demolizione del glucosio a piruvato nella maggior parte delle cellule viventi. Nella reazione sono coinvolti l'ATP (adenosina trifosfato), l'ADP (adenosina difosfato), le forme ridotta e ossidata della nicotinammide adenina dinucleotide (rispettivamente NADH e NAD⁺), nonché numerosi intermedi le cui reazioni vengono accelerate o inibite da altrettanto numerosi enzimi.

Nel 1964, A. Gosh e B. Chance [22] furono i primi a osservare, in modo inequivocabile che sospensioni di cellule di lievito presentavano, sotto certe condizioni, oscillazioni smorzate nella concentrazione della forma ridotta della nicotinammide adenina dinucleotide. Successivamente, Chance et al. [23] trovarono che oscillazioni simili potevano aver luogo in estratti di lievito privi di cellule e, in opportune condizioni, queste oscillazioni persistevano nel tempo. Divenne presto chiaro che le oscillazioni sono una caratteristica del sistema glicolitico enzimatico e fu osservato che, in effetti, la concentrazione di tutti i metaboliti glicolitici, nonché il pH, mostravano andamenti oscillanti.

Un'altra reazione biochimica molto studiata è l'ossidazione aerobica *in vitro* della forma ridotta della NADH a NAD⁺, catalizzata dall'enzima perossidasi (HRP, estratto dalla *Cochlearia armoracia*, una pianta comunemente nota come rafano o barbaforse, della famiglia delle Crocifere o Brassicacee), ed è il primo sistema a singolo enzima che ha mostrato un comportamento periodico. Gli andamenti oscillanti in questo sistema furono individuati per la prima volta nel 1965 da I. Yamazaki et al. [24]. Questa reazione viene anche chiamata reazione perossidasi-ossidasi o reazione PO. Nel 1969, H. Degn e D. Mayer [25] proposero il primo schema di meccanismo per la reazione PO. Oggi sono oggetto di studi sperimentali e meccanicistici moltissimi processi biochimici a livello cellulare e subcellulare, tali studi hanno anche un notevole interesse farmacologico: qui accenno soltanto alla scoperta che andamenti oscillanti degli stati redox del citocromo *b*, delle piridine nucleotidi, delle flavoproteine e della

luce diffusa in un processo biochimico a livello di mitocondri, sono influenzati dall'aggiunta di un antibiotico ionoforico, la valinomicina.

Le ricerche sui sistemi biochimici oscillanti sono attualmente svolte in collaborazione fra biologi, biochimici, biofisici, chimico-fisici e matematici.

Bibliografia

- [1] G. Nicolis, I. Prigogine, *La complessità. Esplorazioni nei nuovi campi della scienza*. Giulio Einaudi, Torino, 1991
- [2] W.C. Bray, *J. Am. Chem. Soc.*, **43**, 1262 (1921)
- [3] A.J. Lotka, *J. Phys. Chem.*, **14**, 271 (1910)
- [4] A.J. Lotka, *J. Am. Chem. Soc.*, **42**, 1595 (1920)
- [5] F.O. Rice and O.M. Reiff, *J. Phys. Chem.*, **31**, 1352 (1927)
- [6] M.G. Peard and C.F. Cullis, *Trans. Faraday Soc.*, **47**, 616 (1951)
- [7] K.R. Sharma and R.M. Noyes, *J. Am. Chem. Soc.*, **98**, 4345 (1976)
- [8] I. Prigogine and G. Nicolis, *J. Chem. Phys.*, **46**, 3542 (1967)
- [9] H.A. Liebafsky and L.S. Wu, *J. Am. Chem. Soc.*, **96**, 7180 (1974)
- [10] A.T. Winfree, *J. Chem Educ.* **61**, 661, (1984)
- [11] I. Hargittai, A.M. Zhabotinsky - Interview, *The Chemical Intelligencer*, July 1996, pp. 19-23
- [12] B.P. Belousov, *Sb. Ref. Radiats Med.za* 1958, Medgiz, Mosca, **1**, 145 (1959), in russo
- [13] A.M. Zhabotinsky, *Biofizika*, **9**, 306 (1964), in russo
- [14] A.M. Zhabotinsky, *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, **157**, 392 (1964), in russo
- [15] H. Degn, *Nature (London)*, **213**, 589 (1967)
- [16] R.J. Field and M. Burger (Eds.), "Oscillations and Traveling Waves in Chemical Systems", Wiley, New York, 1985
- [17] A.M. Liquori, "Termodinamica e sistemi complessi", La Città del Sole, Napoli, 1994
- [18] R.J. Field, E. Körös and R.M. Noyes, *J. Am. Chem. Soc.*, **94**, 8649 (1972)
- [19] I.R. Epstein, *Chem. Eng. News*, **65**, 24 (1987)
- [20] K.F. Bonhoeffer, *Z. Elektrochem.*, **52**, 24 (1948)
- [21] B. Hess and A. Boiteux, *Ann. Rev. Biochem.*, **40**, 237 (1971)
- [22] A. Ghosh and B. Chance, *Biochem., Biophys. Res. Commun.*, **16**, 174 (1964)
- [23] B. Chance, B. Hess and A. Betz, *Biochem., Biophys. Res. Commun.*, **16**, 182 (1964); K. Pye and B. Chance, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **55**, 88 (1966)
- [24] I. Yamazaki, K. Yokota and R. Nakajima, *Biochem., Biophys. Res. Commun.*, **21**, 582 (1965)
- [25] H. Degn and D. Mayer, *Biochim. Biophys. Acta*, **180**, 291 (1969)

UN PERCORSO DIDATTICO DI CHIMICA NEL NUOVO CORSO DI LAUREA PER MAESTRI

Riassunto

Il corso di laurea in Scienze della formazione primaria, di recente istituzione, fornisce un'occasione di fondamentale importanza per introdurre nella scuola, fin dai primissimi livelli, l'educazione scientifica. Per ottenere questo risultato occorre che le discipline scientifiche siano presenti nel curriculum formativo dei futuri maestri e la loro didattica sia impostata nel rispetto delle finalità e degli obiettivi fondamentali dei due livelli di scuola.

La Chimica può dare un contributo essenziale non solo dal punto di vista pedagogico-didattico, ma anche dal punto di vista culturale.

Viene qui proposta una traccia didattica su alcuni argomenti di Chimica che si ritengono fondamentali per un percorso formativo verticale scuola materna-elementare.

Il corso di laurea in Scienze della formazione primaria

Il corso di laurea in Scienze della formazione primaria, istituito dalla legge 19.11.1990, n. 341 e regolamentato dal DPR 31.7.1996, n. 471, diretto alla formazione degli insegnanti della scuola materna ed elementare, è iniziato con il suo primo anno nell'a.a. 1998-99.

Secondo i criteri stabiliti nel Decreto M.U.R.S.T. del 26.5.1998, il corso di laurea è costituito da un biennio comune e da un biennio di indirizzo, differenziato per i due livelli, scuola materna e scuola elementare.

L'ordinamento didattico si articola in:

- area 1 - formazione per la funzione docente

- area 2 - contenuti dell'insegnamento primario

- area 3 - laboratorio

- area 4 - tirocinio

La prima area è finalizzata all'acquisizione delle necessarie attitudini e competenze nei campi pedagogico, metodologico-

R. CARPIGNANO^(*)

D. LANFRANCO^(*)

G. MANASSERO^(*)

T. PERA^(*)

L. MAURIZI^(**)

R. TERZAGHI^(**)

didattico, psicologico, socio-antropologico, igienico-medico e dell'integrazione scolastica per allievi in situazione di handicap.

L'area dei contenuti, che tiene conto dei programmi e degli orientamenti didattici dei due livelli di scuola, comprende attività didattiche finalizzate all'acquisizione di attitudini e competenze in relazione ai fondamenti disciplinari e alle capacità operative nei campi linguistico-letterario, storico-geografico-sociale, matematico-informatico, delle scienze fisiche, naturali ed ambientali, della musica e della comunicazione sonora, delle scienze motorie, delle lingue moderne, del disegno e di altre arti figurative.

L'area 3, del laboratorio, comprende attività riguardanti l'analisi, la progettazione e la simulazione di attività didattiche delle aree 1 e 2 con l'intervento di docenti di entrambe le aree. Le attività di tirocinio, infine, riguardano esperienze svolte presso istituzioni scolastiche allo scopo di integrare le competenze teoriche con quelle operative.

Per ognuno dei due indirizzi (scuola materna ed elementare), il Decreto M.U.R.S.T. fissa la percentuale minima dei crediti riferiti a ciascuna delle aree e agli insegnamenti opzionali, liberamente scelti dallo studente in qualsiasi corso di laurea.

Il piano di studio predisposto dall'Università di Torino è riepilogato nella Tabella 1.

Il secondo biennio dell'indirizzo Scuola Materna prevede 7 corsi annuali e 4 semestrali obbligatori, nonché 2 semestrali (o 1 annuale) opzionali. Per quanto riguarda l'ambito matematico-scientifico sono obbligatori i corsi

semestrali di Didattica della Matematica II e Didattica delle Scienze naturali o Conservazione della natura e delle sue risorse.

Come risulta dalla tabella, il Corso di laurea dell'Università di Torino dà un giusto peso alla formazione scientifica dei futuri maestri: per quanto riguarda la Chimica prevede, obbligatori per i due indirizzi, un corso base al secondo anno e un corso successivo, in alternativa con un corso di Fisica, al quarto anno dell'indirizzo Scuola elementare.

L'Educazione scientifica nella preparazione dei futuri maestri

La necessità che l'educazione scientifica inizi già ai primi livelli di scolarità è opinione ormai consolidata. Gli attuali programmi della Scuola Elementare comprendono i seguenti obiettivi, tra quelli raggiungibili nell'arco dei 5 anni: *osservare e descrivere fenomeni, formulare ipotesi, cogliere relazioni, somiglianze e differenze tra fenomeni*. Nel perseguire questi obiettivi è fondamentale da una parte conoscere i processi mentali e le strutture operative dei bambini e dall'altra seguire un'impostazione pedagogica basata su una conoscenza epistemologicamente corretta della scienza. In sostanza, perché i bambini possano incontrare ed accogliere efficacemente la cultura scientifica è necessario che questo incontro venga prima vissuto correttamente e positivamente da coloro che saranno i loro maestri.

B.Q. Borghi e R. Nasi in un loro recente saggio [1] evidenziano nel bambino due relazioni fondamentali: quella *bambino-ambiente* e quella *bambino-linguaggio*.

Si tratta di relazioni che possono essere meglio definite rifacendoci alle ricerche di P. Watzlawick sulla comunicazione [2]. Secondo questo Autore, la comunicazione, come qualsiasi atto umano, porta con sé un aspetto di *contenuto* ed un aspetto di *relazione*, ed è quest'ultimo che assegna un senso al primo e non viceversa. In questo senso le relazioni di Borghi

(*) Gruppo di Didattica della Chimica, Università di Torino, Corso M. D'Azeglio 48, 10125 Torino

(**) Ecorete VCO, c/o ITI Cobianchi, P.zza Martiri di Trarego 6, 28921 Verbania

Tab. 1- Piano di studio del Corso di laurea in Scienze della Formazione primaria dell'Università di Torino.

PRIMO BIENNIO (COMUNE)		SECONDO BIENNIO (SCUOLA ELEMENTARE)	
Primo anno	Secondo anno	Terzo anno	Quarto anno
Pedagogia generale	Didattica generale	Storia della lingua italiana o Linguistica romanza	Geografia
Pedagogia speciale	Psicologia dell'educazione	Pedagogia sperimentale	Preparazione di esperienze didattiche II o Laboratorio di chimica II *
Sociologia	Lingua straniera (a scelta)	Didattica della lingua straniera scelta	Didattica delle scienze naturali o Conservazione della natura e delle sue risorse*
Storia della lingua italiana o Linguistica applicata	Metodologia della ricerca storica *	Storia romana o medievale o moderna o contemporanea *	Didattica della matematica II *
Psicologia dello sviluppo	Tecnologie dell'istruzione e dell'apprendimento *	Metodologia dell'educazione musicale o Teatro d'animazione*	Tecniche della rappresentazione*
Laboratorio didattico di Scienze della Terra *	Igiene ed educazione sanitaria	Educazione sportiva*	Docimologia *
Laboratorio di esperienze didattiche di Biologia *	Storia del diritto italiano o Diritto costituzionale *	Fondamenti della matematica II*	1 corso opzionale *
	Fondamenti della matematica I *	2 corsi opzionali * o 1 annuale	
	Didattica della matematica I *		
	Laboratorio di chimica *		
	Preparazioni di esperienze didattiche I (Fisica) *		
	2 corsi opzionali * o 1 annuale		

N.B. I corsi indicati con l'asterisco sono semestrali*

e Nasi possono allora essere riproposte come relazione complessa, estesa ai quattro fattori *ambiente-bambino-linguaggio-comportamento*, ove ogni interpretazione lineare è però fuori luogo. In altri termini è importante ricordare che, come sostiene C. Baroncelli [3], la *comunicazione* non riguarda solo la trasmissione di informazioni (nozioni), ma è costitutivamente una questione di *comportamento*, di *relazione*, di *corporeità*. Sullo sviluppo graduale, ma continuo ed orientato, di queste relazioni si fonda la connessione tra scuola materna e scuola elementare. Come afferma C. Rubagotti [4], la scuola materna, a partire dal D.M. del giu-

gno 1991, viene considerata un "*ambiente educativo complesso*" capace di rispondere alle fondamentali esigenze "*di ordine materiale e, più ancora, di ordine non materiale*" che i bambini si trovano ad affrontare. Ciò significa che, a partire dalla scuola materna, i bambini debbono essere portati ad impossessarsi di *conoscenze e competenze* anche attraverso il potenziamento delle "*possibilità di esplorazione, scoperta ecc.*". E' chiaro che i docenti, per corrispondere a queste aspettative, dovranno acquisire strumenti conoscitivi e comportamentali adatti a sviluppare interessi tali da orientare la personalità cognitiva di ogni bambino. Ciò è

possibile facendo perno su dinamiche di interazione con l'alterità che coinvolgano gli aspetti cognitivi almeno quanto quelli emotivi ed affettivi, nell'ambito di concrete esperienze di "*vita vissuta*". Questi Orientamenti assunti per la scuola materna sono la conseguenza di attenti studi e di approfondite ricerche secondo cui l'obiettivo della formazione, a questi, come anche agli altri livelli di età, non si riduce alla sola "conoscenza", ma al "sapere" inteso come una conoscenza ricca di "gusto", di "sapore". A questo si connette quindi una evidente componente di piacere che dovrebbe coinvolgere il bambino nella sua "totalità

biologica". Non si potrebbe dunque sostenere che il bambino conosca delle cose: si dovrebbe invece dire che il bambino le "sa" solo quando egli effettivamente abbia percepito il sapore di quello che ha appreso. Che ciò sia vero è testimoniato dal fatto che i bambini arrivano ad inventare contesti anche astratti pur di dare senso e gusto alle cose nuove. Ciò che essi apprendono non impegna solo le capacità percettive intellettuali, ma anche quelle intuitive, emotive, corporee.

In questa fase della formazione, l'apprendimento rappresenta dunque un processo *complesso* e, per sviluppare il suo stesso sapere, il bambino deve essere parte di questo processo e di questa stessa complessità. Ne consegue che il docente, a partire dalla scuola materna per continuare alla elementare, non può considerare il bambino come "una scatola vuota da riempire", ma un soggetto da orientare, affinché assuma un suo autonomo "senso di orientamento".

La scuola di base pone quindi il bambino nella sua globalità al centro del processo formativo che andrà costruendosi progressivamente (da qui "costruttivismo") su piani evolutivi differenti, ma, fin dall'inizio, complessi.

"L'ambiente" di apprendimento è quindi parte in causa: è anzi il primo fattore interattivo tra bambino ed alterità. Sotto questo profilo anche l'ambiente naturale costituisce o potrebbe costituire un contesto ove apprendere. Perché la formazione avvenga in contesto di complessità, occorre allora che il bambino (e prima di lui il docente) prenda contatto con il proprio ambiente più prossimo (la scuola) e, nello stesso tempo, sia accompagnato in frequenti sconfinamenti, così che possa incontrarsi con l'ambiente in senso più lato. In altri termini, l'apprendimento "costruttivo" si avvale di contesti "protetti" e di contesti "aperti" e diventa complesso solo quando riesce a far vivere le relazioni tra i due.

Per questo è importante che i docenti assumano cognizioni, competenze e comportamenti (dunque "saperi") nell'ambito della "educazione ambientale", la quale ha una sua propria struttura ontologica a cui si connettono tecniche didattiche, indicatori di processo ed indici di misurazione-valutazione [5,6].

Non è questa la sede per articolare questo piano del discorso, tuttavia ci si può limitare ad osservare che l'educazione ambientale rappresenta o potreb-

be rappresentare il primo contesto di apprendimento complesso a cui orientare la costruzione del sapere da parte dei bambini. Si tratta di un contesto che consente di "fare esperienza", cioè di "vivere", una relazione autentica con l'educazione scientifica, della quale la Chimica è componente fondamentale. Il ruolo che la Chimica può svolgere nell'ambito dell'educazione scientifica risponde a due necessità: dal lato della relazione bambino-ambiente, "amplificare i sensi" attraverso i quali egli entra in contatto con l'alterità (azione) contribuendo così a stilare un "profilo di senso" volto a promuovere il "sentirsi parte" (metodologia della ricerca di relazioni e rapporti); dal lato del bambino-linguaggio, che va aiutato a prendere contatto con l'alterità fenomenologica e non, attraverso la costruzione di un corredo concettuale che riesca a connettere precognizioni e nuove acquisizioni mediante un linguaggio condiviso (intersoggettivo) tra pari.

Questo profilo didattico è coerente con le teorie *costruttiviste* dell'apprendimento a cui abbiamo fatto cenno e per le quali i meccanismi cognitivi del bambino traggono linfa da *curiosità disvelate, procedure motivanti* e da *azioni coscienti*. In questo caso infatti, come sottolinea D.P.Ausubel [7], il processo di apprendimento è centrato sul bambino il quale, per apprendere, deve partecipare al proprio stesso processo di apprendimento. Proprio la "partecipazione" del bambino al suo stesso processo di apprendimento, quello che G. Bateson chiama "deuteroapprendimento" [8], è indice della sua centralità, poiché testimonia che il bambino non solo impara, ma sta costruendosi un assetto metodologico che gli consente di "imparare ad imparare". Il bambino impara davvero solo quando ha imparato come si fa ad apprendere e cioè quando ha imparato ad interrogare se stesso nella realtà di cui fa parte. D'altra parte, per interrogarsi occorre rapportarsi con il mondo esterno che ci "contiene" e che "conteniamo" in noi stessi e per dar vita a questo rapporto è necessario *imparare ad os-*

servare e classificare.

Giovanna Gavioli, che da tempo si occupa dei processi di *osservazione e classificazione* [9] propone, per la scuola materna ed elementare, uno sviluppo strategico della educazione secondo la sequenza riportata in Tab.2.

E' opinione indiscussa che il primo approccio del bambino alla scoperta del mondo esterno avvenga attraverso i sensi e che solo in un momento successivo egli sia in grado di connettere e correlare concetti usando un linguaggio condiviso.

Al primo livello di scolarità, scuola materna e primo ciclo di scuola elementare, le attività sono limitate al vedere, fare e raccontare al fine di osservare ed evidenziare somiglianze e differenze.

Nel secondo ciclo della scuola elementare il bambino comincia ad essere in grado di operare in modo finalizzato, a fare quindi delle osservazioni mirate, a confrontare, a rappresentare e a classificare.

In entrambi i casi, non va dimenticato che, come sostiene M. Arcà [10], quello che si fa a scuola deve potersi continuamente ed esplicitamente riferire a quello che il bambino incontra fuori di essa, poiché solo così la scuola si offre come *esperienza culturale emblematica e orientante*, non estraniata né alienante.

Un percorso di chimica per il corso di laurea per maestri

Partendo dalle premesse strutturali, culturali e metodologiche sviluppate, proponiamo qui una traccia didattica su alcuni argomenti fondamentali per la filiera formativa scuola materna-elementare.

Questo percorso intende mettere in atto un processo di apprendimento ciclico, che può essere esemplificato dalla successione: *curiosità, esplorazione, fantasia, costruzione, autonomia, socializzazione, comunicazione, nuove curiosità.*

Nell'ottica della teoria costruttivista, il percorso proposto mira a preparare i maestri affinché, a loro volta, possa-

Tab.2 Strategia dello sviluppo dell'educazione

Livello di scolarità	Fase concettuale	Fase operativa
Scuola materna e 1° Ciclo Elementare	osservare e differenziare	vedere, fare e dire
2° Ciclo Elementare	osservare, comparare e classificare (inizio della fase <i>induttiva</i>)	osservare, operare e rappresentare (fare finalizzato)

no stimolare la curiosità dei piccoli studenti, abituandoli ad osservare, confrontare, discutere.

Le linee di sviluppo del corso tengono conto di alcune scelte di fondo:

- quanto proposto nel primo ciclo della scuola elementare deve connettersi con il profilo sviluppatosi nel corso della scuola materna

- l'evoluzione cognitiva avviene attraverso l'assunzione da parte del bambino di ruoli diversi fino ad arrivare, nel secondo ciclo (classi quarte), alle esperienze di "*peer education*" (bambini di quarta che insegnano a bambini di prima);

- l'articolazione del corso sviluppa sul piano sincronico la storia del bambino con quella dell'uomo, dai primordi alla modernità, e su quello diacronico l'evoluzione delle conoscenze scientifiche con la Storia, mettendone in luce i "salti" epocali e le contemporaneità orizzontali.

Da una ricerca effettuata nella scuola materna ed elementare [11] su come i bambini vedono, sentono e descrivono l'ambiente che li circonda è scaturita una sequenza di **parole chiave** che qui elenchiamo senza gerarchie:

FUOCO, MISURARE, TOCCARE, ASSAGGIARE, ACQUA, TERRA, VITA, GUARDARE "DENTRO", TEMPO.

Tenendo conto di queste parole chiave abbiamo deciso di scegliere per il corso i seguenti temi:

ACQUA

ARIA

SUOLO

PROCESSI PRIMITIVI (COMBUSTIONE e PREPARAZIONE DEI METALLI)

PROCESSI MODERNI (ANALISI DELLE ACQUE, ARIA, SUOLO)

I tre temi ACQUA, ARIA E SUOLO sono, a nostro avviso, molto fertili perché rispondono all'esigenza di offrire ai maestri una preparazione, in termini di cognizioni ed esperienze (sapere e saper fare), tale da poter rispondere alla domanda formativa dei bambini che, come afferma F. Frabboni [12]: "*tendenzialmente soddisfano i loro bisogni esplorativi e le loro possibilità conoscitive esercitandosi con i diversi tipi di materiali (acqua, sassi, sabbia, ecc.), lavorando con le mani, con oggetti, utensili ed elementi da costruzione, svolgendo attività che uniscono alla valenza scientifica un particolare carattere motivante*".

50

Il tema PROCESSI PRIMITIVI si pone nella prospettiva di ripercorrere con i bambini le tappe storiche dell'evoluzione dell'uomo. In questo ambito la scelta di proporre lo studio della *combustione* e della *preparazione dei metalli* ha le stesse motivazioni che C. Fiorentini esprime in "La Prima Chimica"[13] quando sottolinea che: "*sono quei fatti chimici che hanno svolto contemporaneamente un ruolo fondamentale sia nel processo evolutivo dell'uomo che nello sviluppo del pensiero chimico*".

D'altra parte la combustione, che trae spunto dalla "ri-scoperta del fuoco" da parte dei bambini, si relaziona a cinque concetti chimici acquisibili su base fenomenologica: *combustibili, metalli, acidi, basi, sali*. Ne scaturisce la struttura classificatoria che la Chimica offre allo sviluppo cognitivo del concetto di *sostanza*.

Il quinto tema, PROCESSI MODERNI, infine collega il tema della *trasformazione*, introdotto attraverso lo studio dei processi primitivi, a quello di *sostanza e miscuglio* (acqua, aria e suolo) portando i bambini e, prima di loro, i maestri a "*guardare dentro*" per separare, riconoscere, catalogare: in una parola "*analizzare*".

Le esperienze verranno proposte come ambiti didattici ove il processo cognitivo implica la mobilitazione delle risorse della mente, del corpo e della psiche, e la conoscenza viene vissuta e quindi contestualizzata dal soggetto in formazione.

Per realizzare le esperienze, che intendono servire contemporaneamente da stimolo, sostegno motivazionale ed ambito di esperienza cognitiva, non è necessario disporre di un laboratorio strutturato e superattrezzato. Il laboratorio sta nell'ambiente che ci circonda: l'aula, il cortile della scuola, il rio del paese, ove si può attivare il **lavoro sul campo**. E' però necessario disporre di strumenti portatili e, quindi, si utilizzeranno kits di facile uso, reperibili in commercio a prezzo contenuto.

Dal quadro generale ai contenuti specifici

L'itinerario didattico relativo ai temi individuati per il corso può essere articolato in fasi.

Nello schema di tab.3 riportiamo, a titolo di esempio, lo sviluppo del tema dell'acqua che, almeno nelle sue prime tre fasi, potrebbe essere affrontato in continuità tra scuola materna ed ele-

mentare. Va però detto che tra i temi da noi suggeriti possono esistere altri piani di relazione che non seguono necessariamente la progressione lineare dello schema proposto in Tab. 3.

Tema specifico: acqua

Il bambino conosce questa sostanza, ne ha esperienza sotto forma di pioggia, fiume, mare, ecc..

Qual è l'idea primitiva di acqua? E' un qualcosa che scende dall'alto, o scorre in superficie, o sgorga dal sottosuolo. Il bambino conosce il termine "liquido" senza saperne interpretare il significato.

Dall'idea primitiva si passa all'idea evoluta mediante l'azione che consiste in attività successive, gradualmente più complesse. L'azione formativa va alimentata con il dialogo fra allievi e fra insegnante e allievi, domande mirate, prove sperimentali sull'aspetto ed il comportamento dell'acqua.

Da una prima idea evoluta, l'acqua in movimento, si può ricavare un nuovo tema specifico: l'acqua che si muove. Si faranno osservazioni sul movimento meccanico dell'acqua (travaso da un recipiente ad un altro, spostamento dell'acqua nei fiumi, effetti delle cascate) e sul comportamento dell'acqua in ebollizione in una pentola. Di qui, sempre attraverso ulteriori indagini, prove e discussioni da parte degli allievi, si arriva ad una idea evoluta delle cause di alcuni fenomeni osservati introducendo i concetti di: calore e temperatura, senza naturalmente ancora specificarne le caratteristiche fisiche.

Si procede, seguendo questa traccia, fino all'ultimo tema specifico: le acque acide.

Tema specifico: aria

Lo schema precedente termina proponendo la chiave di apertura al nuovo tema: il sistema acqua e shampoo, con l'evidenza della SCHIUMA, apre al tema dell'ARIA che può essere articolato come nel caso dell'acqua e di cui possiamo riportare qui di seguito i temi specifici:

1. Le bolle di sapone
2. L'aria nell'acqua
3. L'aria che è dentro di noi
4. L'aria che è fuori di noi
5. L'effervescenza
6. L'analisi delle arie attraverso gli aromi ed i profumi
7. La produzione di arie diverse
8. Le arie acide

Tab. 3 – Sviluppo del tema ACQUA

ACQUA				
n.	Tema specifico	IDEA PRIMITIVA	IDEA EVOLUTA	AZIONE
1	I <i>TIP</i> I di acqua Acqua di pioggia, acqua di fiume, di lago acque sotterranee	Liquido (?) SOPRA Liquido (?) QUI Liquido (?) SOTTO	Acqua in movimento CICLO	Parlare, ascoltare, sentire, toccare, disegnare, esplorare
2	L'acqua <i>CHE SI MUOVE</i> Acqua calda Acqua fredda	Cascata, Caldo, freddo	Calore Temperatura	Far scorrere, esplorare, far bollire, osservare, descrivere
3	Le <i>FORME</i> dell'acqua Solido, liquido, aeriforme	Il Ghiaccio L'Acqua Il Vapore (?)	Molecole come "soggetti" in movimento (prima idea di modello particellare)	Gioco di simulazione ove i "soggetti" in movimento sono i bambini
4	Gli <i>SPAZI</i> nell'acqua Pallini (da caccia) e zucchero in acqua	Pieno	Volume come spazio delle molecole e vuoti tra le molecole	Giocare, esplorare, descrivere
5	L'acqua nei <i>VASI</i> I vasi comunicanti La pressione come effetto del movimento	Forma	Pressione come urto "tra" e "di" molecole	Giocare, fare, parlare, descrivere
6	Lo <i>SPAZIO DELLE COSE</i> nell'acqua Oggetti in acqua (biglie) Sostanze in acqua (sale)	Somma	Molecola Miscuglio Soluzione	Guardare, disegnare, esplorare
7	L'acqua che <i>PULISCE</i> l'acqua che <i>LEGA</i> Miscela e miscugli Acqua ed alcool Acqua ed olio Acqua, olio e sapone Acqua e farina Acqua e cemento	Pulito, sporco, unto Incollare, colla	Polarità Apolarità Anfipaticità Cambiamento Trasformazione	Esplorare, misciare (esperienza del pettine e miscugli), impastare, cementare, classificare
8	Le <i>COSE NASCOSTE</i> nell'acqua Le soluzioni di acqua e sale Evaporazione Formazione di cristalli di sale	Scomparire	Dissoluzione (le molecole negli interstizi) Miscuglio Soluzione Cristalli	Giocare (il gioco dell'acqua salata), assaggiare, fare, osservare, parlare, descrivere
9	Le acque <i>ACIDE</i> Acqua del rubinetto Acqua piovana Acqua della lavastoviglie Acqua e limone Acqua ed aceto Acqua e shampoo	Fresca o calda Bagnata Sporca Sapore aspro Sapore aspro Schiuma	Aggressività Acidità Basicità Neutralizzazione	Parlare, prevedere, confrontare, ordinare, classificare, riconoscere, domandare

Tema specifico: il terreno

Il percorso propone una analoga articolazione per il TERRENO:

1. I tipi di terreno
2. Le forme del terreno
3. Gli spazi nel terreno
4. Il terreno nei vasi (terreno e

terriccio)

5. Il terreno che PULISCE, il terreno che LEGA
6. Le cose nascoste nel terreno
7. Il terreno che alimenta
8. Acidità e basicità dei terreni

Tema specifico: i processi chimici primitivi

Si passa poi ai *PROCESSI CHIMICI PRIMITIVI*: a partire dalla immagine del FUOCO si opera la sua ri-scoperta come *processo trasformativo* delle sostanze, dalla trasformazione del

calcare a dare calce spenta e biossido di carbonio fino a pervenire alla respirazione come processo di combustione. Si parlerà dei *combustibili* e della loro possibile gerarchizzazione in una scala di pregio relativamente al potere energetico e all'impatto ambientale. Verranno quindi indagati i processi più semplici di preparazione dei metalli a partire dai minerali.

E' importante collegare l'evoluzione delle conoscenze scientifiche con la storia, mettendo in luce che questi processi sono il risultato di ciò che gli uomini di antiche civiltà hanno lentamente e faticosamente scoperto e facendo notare come queste scoperte siano state determinanti per il destino dei popoli e delle civiltà.

A questo punto si potrà riprendere il tema degli acidi e delle basi, la cui scoperta nel periodo alchemico fornì un nuovo strumento fondamentale per ricavare nuove sostanze utili all'uomo.

Si potranno riprodurre le esperienze di *salificazione*, per arrivare infine ai **PROCESSI MODERNI**.

Tema specifico: i processi moderni (ANALISI DELLE ACQUE, ARIA, SUOLO).

In questo ambito si privilegerà l'analisi chimica delle acque di superficie attraverso il **PROTOCOLLO GREEN** (Global Rivers Environmental Education Network) che prevede il

ricorso a kits per analisi sul campo così da affrontare il tema dei criteri di campionamento e pervenire alla raccolta dei dati sui principali indicatori chimici: temperatura, torbidità, pH, ossigeno disciolto, nitrati, fosfati totali, BOD5.

Conclusioni

Con questo lavoro abbiamo voluto proporre una traccia metodologico-didattica relativa ad alcuni contenuti che consideriamo fondamentali in un percorso verticale scuola materna-elementare.

Riteniamo che i fondamenti della chimica possano essere introdotti in modo efficace già in questa prima fase dell'età evolutiva, purché opportunamente contestualizzati rispetto alle capacità di apprendimento del bambino.

I temi scelti, alcuni dei quali già sperimentati nelle classi di alcune scuole che appartengono ad "Ecorete V.C.O."¹, permettono di offrire ai futuri maestri contenuti ed esperienze strettamente connesse ad una metodologia che riteniamo particolarmente fertile per il successo della loro attività didattica.

Bibliografia

- [1] B.Q. Borghi, R. Nasi, *Le cose, il tempo e la natura*, Nicola Milano, Bologna, 1993.
 [2] P.Watzlawick et al., *Pragmatica della comunicazione umana*, Astrolabio-

Ubal dini, Roma, 1971.

[3] C. Baroncelli, *Limiti della comunicazione. Etica del silenzio* in CEM-Mondialità, 1999, 30, n.2, p.3.

[4] G. Rubagotti (a cura di), *Manuale di formazione e aggiornamento per docenti della scuola materna*, Fabbri, Milano, 1992.

[5] R. Ammassar, M. T. Palleschi (a cura di), *Educazione ambientale, gli indicatori di qualità*, ISFOL, Franco Angeli, Milano, 1991.

[6] T. Pera, *Una Provincia per l'educazione ambientale*, Scholè Futuro, Torino, 1996.

[7] D.P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Franco Angeli, Milano, 1995.

[8] G. Bateson, *Verso un'ecologia della mente*, Adelphi, Milano, 1976.

[9] G. Gavioli, L'importanza della osservazione e della classificazione in *La Chimica alle elementari*, a cura di R. Andreoli, F. Carasso Mozzi, L. Contaldi, S. Doronzo, P. Fetto, P. Riani, Giunti Lisciani, Firenze, 1996. Questo libro può essere un utile strumento di lavoro per l'insegnante.

[10] M. Arcà, "Come apprendono i bambini dai tre ai sei anni: l'insegnamento e la scuola" in *Manuale di formazione e aggiornamento per docenti della scuola materna*, a cura di G. Rubagotti, Fabbri, Milano, 1992.

[11] L. Maurizi e R. Terzaghi, Ricerca condotta nella Scuola Materna Della Rossa e nella Scuola Elementare S. Anna di Verbania 3.

[12] F. Frabboni, Presentazione, in B.Q. Borghi, R. Nasi, *Le cose, il tempo e la natura*, Nicola Milano, Bologna, 1993.

[13] C. Fiorentini, *La prima Chimica*, Franco Angeli, Milano, 1990.

¹ Ecorete è l'entità delle scuole del Verbano, Cusio Ossola che, coordinate da T. Pera, da anni lavorano in rete sui temi dell'educazione ambientale

Errata Corrige

Nell'articolo comparso nel n.1, pag.26, 1999, nella sezione "Laboratorio e Dintorni", per un errore di editing non sono state riportate le seguenti formule:

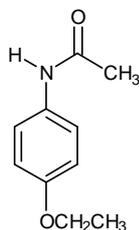


fig. 5

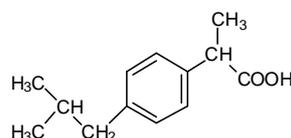


fig. 7

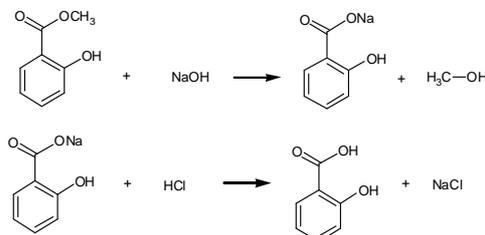


fig. 8

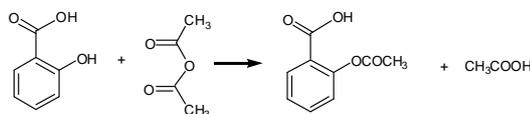


fig. 9

L'ENERGIA

Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica

Parte prima:

Il campo semantico dell'energia

Lavoro eseguito con il contributo del MURST. Fondi 40% - Progetto: Insegnamento ed apprendimento della chimica.

Summary - This article is the first of a study which deals with the identification of pupils' (aged 11 - 14) ideas about energy. After a short epistemological analysis of the formation of the concept, results are reported concerning words' association with the term energy. Pupils associate mainly terms related to electricity (bulb, electrical current, battery, television set, etc.) and to natural objects and phenomena (sun, wind, water, earth, etc.). In the second part of this study the results obtained with a questionnaire including two tasks will be reported.

1 - INTRODUZIONE

I programmi del primo ciclo della scuola secondaria del 1979 indicano, per il tema "Progresso scientifico e società", due contenuti, il primo dei quali è "energia" ed il secondo "scienza e società". Le indicazioni di lavoro per il contenuto energia sono le seguenti: *Il concetto di energia interviene in tutta una serie di fenomeni studiati nell'ambito delle diverse aree; tali fenomeni possono essere esaminati e via via sistemati in un corso globale, che alla fine del corso triennale, andrebbe ripreso ed arricchito con nuovi esempi di trasformazioni energetiche, in modo da far giungere gli alunni ad una sufficiente comprensione del concetto di energia. Dovrà emergere la rilevanza economica e sociale della produzione e del consumo di energia, vista in un contesto storico.*

(*) ITIS "A.Sobrero", Casale Monferrato (AL)

(**) Dipartimento di Chimica Analitica, via Pietro Giuria 5, 10125 Torino - Gruppo di Didattica della Chimica Università di Torino

GIANNI CONDOLO (*)

EZIO ROLETTO (**)

Da queste indicazioni di lavoro, emerge chiaramente l'idea che il concetto di energia è uno dei più importanti per l'educazione alle scienze in quanto interviene in tutta una serie di fenomeni studiati nell'ambito delle diverse aree. In effetti si è sostenuto che lo studio della fisica dovrebbe essere considerato lo studio dell'energia e delle sue trasformazioni e si è avanzata l'ipotesi di unificare l'insegnamento delle scienze fisiche e chimiche grazie al concetto di energia[1]. D'altra parte, non si può dimenticare che i flussi di energia sono uno dei temi più importanti nel campo delle scienze biologiche e che, parimenti, l'argomento energia occupa un posto importante nei settori della tecnica e dell'economia. In particolare, il tema energia ha ormai acquisito una notevole importanza dal punto di vista socio-economico, in quanto è impellente l'esigenza di limitare i consumi di risorse energetiche non rinnovabili.

Se tutti i ricercatori in didattica concordano nel ritenere il concetto di energia uno dei concetti basilari dell'educazione alle scienze, i pareri sull'età più conveniente per affrontarlo nelle attività di insegnamento/apprendimento sono discordi. Warren[2] ritiene che lo si debba insegnare solo ad allievi che già hanno acquisito conoscenze fondamentali di fisica, quali i concetti di forza e lavoro. Al contrario, Solomon[3] è del parere che si debba affrontare il concetto di energia già nella scuola elementare. Trumper[4], in uno studio verticale su allievi di età compresa tra i dieci e quattordici anni, avanza l'ipotesi che l'insegnamento dell'energia possa iniziare a dieci anni, in quanto gli allievi di questa età concepiscono l'energia come "causa" (fa muovere qualcosa

o produrre qualcosa) e come "prodotto" (è il risultato di una qualche trasformazione). Secondo l'autore, questi sono i quadri interpretativi fondamentali per analizzare una grande varietà di fenomeni o processi fisici in termini di "energia" e per comprendere i concetti di "trasferimento" e "conservazione" dell'energia.

2 - LA COSTRUZIONE DEL CONCETTO DI ENERGIA

Le ricerche che hanno consentito di sviluppare il concetto di energia e di dargli il contenuto scientifico fecondo che possiede oggi appartengono al dominio della meccanica ed a quello della termologia. Anche nel caso dell'energia, la storia delle scienze insegna che i nuovi concetti si affermano solo dopo un periodo più o meno lungo, durante il quale si trovano in uno stato di confusione e di fluidità. Il salto epistemologico, nel senso in cui ne parla Bachelard, avviene nel momento in cui il nuovo concetto si libera dei legami con le vecchie concezioni e si fissa in una nuova dimensione, creando un nuovo paradigma e aprendo nuove prospettive di ricerca.

Nel paragrafo che segue prenderemo in considerazione, da un punto di vista storico ed epistemologico, l'elaborazione del concetto di energia, fino al momento in cui gli scienziati riuscirono a definirla in modo da farne un concetto fondamentale della fisica, misurabile e quantificabile. A questo scopo seguiremo due piste, quella meccanica e quella termica.

2.1 - L'ENERGIA NEI FENOMENI MECCANICI

Aristotele è il filosofo che elaborò le idee della fisica che resistettero fino alla prima rivoluzione scientifica*. Egli parlò di **energheia** contrapponendola a **dynamis**: la prima sta ad indicare l'atto, la seconda la potenza. Per questo filosofo, la materia è pura

“potenzialità” che viene realizzata con conseguente passaggio all’atto, grazie all’energia della forma: *Materia e forma sono inscindibili, dal momento che ciò che è in atto non è altro che ciò che era in potenza, dopo aver conseguito il suo compimento*[5]. Un esempio che ben chiarisce questo concetto è quello del blocco informe di marmo e della statua: lo scultore estrae dal blocco informe (la materia), per eliminazione della parte superflua, una statua (la forma). Quest’ultima era già presente “in potenza” nel blocco di marmo e l’opera dello scultore consente di passare da ciò che è in potenza a ciò che è in atto. Questa è l’idea di potenza che con successivi aggiustamenti e variazioni, sopravvisse fino all’avvento degli “scienziati” (Galileo, Bacon, Newton, ecc.) che si schierarono apertamente contro il principio d’autorità (l’ha detto Aristotele e quindi non c’è discussione che tenga) e contro il dogma (sta scritto nelle Sacre Scritture e quindi non può essere oggetto di discussione) e sostennero la necessità di studiare il mondo per quello che è. Il rifiuto della fisica aristotelica da parte degli scienziati che furono gli artefici della rivoluzione scientifica, portò a sostituire la coppia “energia-potenza” con la coppia “energia-forza”. Nel secolo XVII Descartes sostenne che, a partire da un insieme di proposizioni indiscutibili o assiomi concernenti Dio e la mente umana, era possibile ricavare la conoscenza geometrica quantitativa del mondo. Egli ammise *a priori* che, pur modificandosi i movimenti dei corpi, una qualche grandezza fisica dovesse conservarsi. In questo modo giunse a dedurre il principio di conservazione del movimento, ossia del prodotto della massa del corpo per la sua velocità che egli riteneva una misura dell’effetto di una forza.

L’idea di Descartes venne contestata da Leibniz e Huygens: entrambi sostennero che la vera misura dell’effetto di una forza era il prodotto mv^2 al quale Leibniz diede il nome di vis viva (**forza viva**). L’idea di Leibniz è un abbozzo del teorema dell’energia cinetica, ma solo un secolo più tardi, e precisamente nel 1829, Coriolis propose per la forza viva l’espressione

$mv^2/2$ ossia quella che oggi è chiamata energia cinetica. Come sostiene Elkana⁵, nel XVII e XVIII secolo il concetto di forza era ancora allo stato fluido, anche per i grandi matematici (Eulero, D’Alambert, Lagrange, Bernoulli, Leibniz) che svilupparono la meccanica razionale, mentre quello di energia non era ancora nato.

Il termine energia si trovò infine ad essere associato al concetto di vis viva, di forza viva, cioè alla forza intrinseca al corpo in movimento, designata come mv^2 . Infatti, il primo scienziato che abbia usato il termine “energia” in senso moderno fu l’inglese Thomas Young che scrisse nel 1807, nelle sue *Lectures on Natural Philosophy: Il vocabolo energia può essere applicato in modo molto appropriato al prodotto della massa o peso del corpo per il quadrato del numero che ne esprime la velocità... Questo prodotto è stato denominato forza viva o ascendente. Alcuni lo hanno considerato la vera misura della quantità di moto; ma anche se questa tesi è stata rifiutata universalmente, la forza stimata in questo modo merita però una denominazione distinta*. [6] Come si comprende facilmente, Young identificava l’energia con quella che oggi viene chiamata energia cinetica.

2.2 - L’ENERGIA NEI FENOMENI TERMICI

La storia della formazione del concetto di calore è lunga e tortuosa come quella del concetto di energia. I due concetti si sono sviluppati parallelamente e indipendentemente l’uno dall’altro fino al diciannovesimo secolo, cioè fino alla enunciazione del primo principio della termodinamica. Infine, con l’affermarsi dell’equivalenza tra calore e lavoro, è stato possibile definire il calore come un particolare modo di trasferimento dell’energia. Fin dalla sua origine, il concetto di calore è stato associato, confuso o sostituito con quello di temperatura. Questa idea è tanto radicata che, ancora oggi, per indicare un oggetto caldo, si ricorre alla sua temperatura e non alla quantità di calore che esso contiene. Una giornata torrida, o un bimbo con la febbre, evocano un’idea di temperatura e, viceversa, sono proprio le temperature che ci fanno dire quanto

sia torrida la giornata, o quanto sia ammalato il bimbo. Non che queste idee siano sbagliate, è che si riferiscono ad una qualità del calore e non al calore stesso.

Inizialmente, gli studiosi della natura, come ad esempio Aristotele, avanzarono l’idea che il calore fosse una “sostanza” (ipotesi **materialista**) e tale idea rimase praticamente invariata fino al diciannovesimo secolo. Una di queste sostanze è il **flogisto**, proposto all’inizio del secolo da Becher e Stahl. Il flogisto venne ritenuto inizialmente una proprietà intrinseca che determinati corpi si scambiano nel corso di trasformazioni oggi chiamate reazioni chimiche. In seguito, tale scambio venne esteso alle trasformazioni in cui si verifica un aumento di temperatura, come i cambiamenti di stato di aggregazione. Però il flogisto era ritenuto una sostanza immateriale e quindi priva di peso: ciò rese difficile interpretare certi fenomeni. Si aprì così la strada al dubbio che divenne critica aperta verso la fine del secolo, quando Lavoisier portò a predominare l’idea dell’esistenza dell’ossigeno. Allora gli scienziati sostituirono l’idea del flogisto con quella di **calorico** che, indicato inizialmente con il termine fluido igneo, veniva descritto come un fluido elastico, costituito da particelle autorepulsive e attratte da altre particelle materiali, indistruttibile e non generabile.

Accanto all’ipotesi materialista si era sviluppata anche l’ipotesi **dinamica** sulla natura del calore. Questa, chiamata anche ipotesi meccanica o cinetica, era la più antica e interpretava il caldo ed il freddo come diversi stati termici della materia, intesi come stati di movimento meccanico o di vibrazione a livello microscopico.

Il dibattito sulla natura del calore ebbe influenza anche nel tentativo di spiegare le trasformazioni calore-potenza motrice e viceversa. Nella *Memoire sur la chaleur*[7] pubblicata nel 1783, Lavoisier e Laplace fissarono con chiarezza i termini del problema: *Les physiciens sont partagés sur la nature de la chaleur. Plusieurs d’entre eux la regardent comme un fluide répandu dans toute la nature et dont les corps sont plus ou moins pénétrés, à raison de leur température et de leur disposition particulière à le retenir... d’autres physiciens pensent que la chaleur n’est que le résultat des mouvements invisibles des molécules de la*

* Viene chiamato *rivoluzione scientifica* un fenomeno storico complesso la cui durata copre convenzionalmente il periodo compreso tra il 1543, anno della pubblicazione dell’opera *De Revolutionibus Orbium Coelestium* di Copernico, e l’anno 1687 in cui fu pubblicata l’opera *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Newton. Si sostiene abitualmente che durante questo periodo si sono poste le basi della scienza moderna.

matière. On sait que les corps, même les plus denses, sont remplis d'un grand nombre de pores ou de petites vides... Ces espaces vides laissent à leurs parties insensibles la liberté d'osciller dans tous les sens... C'est ce mouvement intestin qui, suivant les physiciens dont nous parlons, constitue la chaleur...

[I fisici hanno idee diverse sulla natura del calore. Alcuni lo considerano un fluido diffuso in tutta la natura che penetra tutti i corpi in modo diverso a seconda della temperatura e della loro particolare disposizione a trattenerlo (si tratta della congettura materialista sulla natura del calore)... Altri pensano che il calore non sia altro che il risultato dei movimenti impercettibili delle molecole della materia. Si sa che i corpi, anche quelli più densi, hanno un gran numero di pori o di piccoli vuoti... Questi spazi vuoti lasciano alle loro parti invisibili la libertà di oscillare in tutti i sensi... E' questo movimento interno che, secondo questi fisici, costituisce il calore (si tratta della congettura dinamica sulla natura del calore)].

I due autori non prendevano posizione a favore dell'una o dell'altra ipotesi (*Nous ne déciderons point entre les deux hypothèses précédentes*) e facevano notare che ognuna permetteva d'interpretare in modo soddisfacente un certo tipo di fenomeni. Per esempio, con l'ipotesi dinamica, si dava un'interpretazione semplice e soddisfacente del fenomeno dell'irraggiamento e del calore sviluppato in seguito ad attrito. D'altra parte, con l'ipotesi materialista, si interpretava facilmente la dilatazione dei corpi per riscaldamento, la loro contrazione per raffreddamento e lo scambio di calore per contatto tra due corpi. Le prime critiche decisive all'ipotesi materialista del calorico furono portate da Rumford nel 1798 (in seguito agli studi sul calore sviluppato nell'operazione di alesatura dei cannoni) e da Davy nel 1799, ma il problema fu definitivamente risolto verso la metà del diciannovesimo secolo da Joule e da Mayer che, quasi contemporaneamente, determinarono sperimentalmente il valore dell'equivalente meccanico della caloria, aprendo la strada al primo principio della termodinamica o principio di conservazione dell'energia.

La prima relazione tra produzione di lavoro meccanico e trasporto di calorico si deve a Sadi Carnot che in uno scritto del 1824, intitolato *Réflexion sur la puissance motrice du feu* scrisse: "*La production de la puissance motrice est due, dans les machines à vapeur, non à une consommation de calorique, mais à*

son transport d'un corps chaud à un corp froid". [Nelle macchine a vapore, la produzione di potenza motrice è dovuta non al consumo del calorico, ma al suo trasporto da un corpo caldo ad uno freddo].

Il lavoro di Sadi Carnot, pur se presentato all'Accademia delle Scienze di Parigi, non ebbe alcuna eco e nessuno raccolse la sua congettura fino a quando Thomson in Inghilterra e Clausius in Germania non vi trovarono i fondamenti intorno a cui si strutturò, tra il 1840 ed il 1865, la termodinamica. Fu infatti nel 1865 che Clausius pubblicò la Teoria meccanica del calore nella quale enunciò i due principi fondamentali della termodinamica in questa forma:

- l'energia dell'universo è costante: principio di conservazione;

- l'entropia dell'universo aumenta: principio di evoluzione.

Egli propose di utilizzare gli stessi termini per indicare gli stessi concetti o le stesse grandezze e suggerì l'uso del termine energia, già usato da Thomson, per designare il calore e tutto ciò che può sostituirlo. Ormai il concetto era legato a manifestazioni dell'energia corrispondenti a trasformazioni di vario tipo: spostamenti nello spazio, variazioni di temperatura, fenomeni di natura elettrica e luminosa, reazioni chimiche, ecc.

Nel saggio *La scoperta della conservazione dell'energia*[5], Yeuda Elkana sostiene che il concetto di energia è stato elaborato in stretto collegamento con la formulazione del principio della sua conservazione: *Per il fisico - egli scrive - il concetto di energia è inseparabile dal principio della sua conservazione. ... [e] gli studi di storia di questo concetto compiuti da fisici chiariscono, nel modo più evidente, che il concetto di energia nel suo senso moderno sorse dopo la formulazione del principio di conservazione*". Dal momento che questo principio venne esposto per la prima volta nella sua accezione generale da Hermann von Helmholtz nel saggio *Über die Erhaltung der Kraft* (Sulla conservazione della forza), pubblicato nel 1847, possiamo collocare verso la metà del XIX secolo la nascita del concetto di energia della fisica classica. Helmholtz usò il termine *Kraft* in modo ambiguo, in quanto si trovò a dover elaborare dei concetti che, inevitabilmente, quando vengono creati, si trovano in uno stato "fluido". Per Helmholtz, la *Kraft* è una forza vaga, indefinita, alla quale tutte le

altre forze fisiche sono connesse, che egli ritiene si conservi in natura e che deve essere posta in relazione matematica con l'entità propria della fisica meccanica di cui gli studiosi della meccanica razionale avevano mostrato la conservazione.

Occorsero non meno di trenta anni alla comunità scientifica per comprendere i concetti di energia e di conservazione dell'energia. In un articolo su *Nature* del 1877, Maxwell[8] sostenne che i concetti di energia e di forza dovevano essere distinti, attribuendo loro due significati diversi. Come fa notare Elkana, verso il 1880 Helmholtz stesso cominciò a parlare, anziché, di *Erhaltung der Kraft*, di *Constanz der Energie* e, ad un certo punto, smise completamente di usare la vecchia espressione. Si deve forse pensare che egli ritenesse sbagliata quest'ultima? Ecco cosa scrive Elkana a questo proposito: *L'unica spiegazione che posso trovare ... è che Helmholtz vedeva il mutamento di terminologia, da "Erhaltung der Kraft" a "Constanz der Energie" come un fatto puramente verbale. Egli semplicemente non pensava che ci fosse stato qualcosa di sbagliato nel suo concetto di Kraft prima che egli ne dimostrasse la conservazione; in altri termini, non si rendeva conto che i suoi concetti erano passati per uno stato di fluidità e che il concetto di energia si era fissato nella sua mente ed in quella dei suoi contemporanei solo in conseguenza della dimostrazione della conservazione dell'energia da lui data nel 1847. Psicologicamente la cosa è chiara: non poteva essere cosciente.*

Che il concetto di energia fosse ormai chiaro verso la fine del secolo, lo testimonia un articolo di Cantoni[9] nel quale l'autore scriveva: *... giova notare come il vocabolo energia abbia un significato meglio esplicito e determinato di quello di forza. Chiamasi energia d'un corpo la sua attitudine a compiere un determinato lavoro. E si denomina lavoro l'atto con cui il corpo produce un cambiamento di posizione di un sistema di parti, le quali, per loro scambiabili azioni od influenze, resistono a codesto cambiamento.*

Nella seconda metà del XIX secolo vennero a confronto due modi diversi di interpretare la natura. Da una parte vi erano i meccanicisti i quali sostenevano la concezione materialistica e atomistica dei fenomeni natu-

rali: tutti i fenomeni erano riferiti ai movimenti di particelle materiali. A questi si contrapponevano gli energetisti i quali difendevano la concezione energetica, sostituendo all'invarianza della quantità di materia dei primi, l'invarianza della quantità di energia. La contrapposizione tra materia e energia venne risolta con la teoria della relatività nella quale non vi è distinzione essenziale tra massa ed energia, in quanto l'energia ha una massa e la massa rappresenta dell'energia. Non vi sono più due leggi di conservazione, ma una sola, quella della massa-energia.

Attualmente, la concezione dell'energia largamente condivisa dagli scienziati è stata così esplicitata da Richard P. Feynman[10]:

[Il principio di conservazione dell'energia] stabilisce che vi è una certa quantità, che chiamiamo energia, che non cambia nei molteplici mutamenti subiti dalla natura. Il concetto è astratto, poiché, si tratta di un principio matematico; esso afferma che esiste una quantità numerica che non cambia qualsiasi cosa accada. Non è la descrizione di un meccanismo o di un fenomeno concreto, è soltanto il fatto singolare di poter calcolare un numero, e dopo aver osservato i mutamenti capricciosi della natura, ricalcolarlo ottenendo sempre lo stesso risultato.

... vi è l'energia dovuta al movimento, chiamata energia cinetica, l'energia dovuta all'interazione gravitazionale, l'energia termica, l'energia elettrica, l'energia della luce, l'energia elastica delle molle, ecc. ed esiste anche l'energia che possiede una particella per il semplice fatto di esistere, energia che dipende direttamente dalla massa: $E = mc^2$.

Possiamo quindi concludere che chiedersi cosa sia l'energia è come chiedersi cosa sia una carica elettrica o una particella newtoniana. La risposta a questa domanda è che non vi è risposta, per principio. Questo significa semplicemente che si tratta di una domanda che non dovrebbe essere formulata. L'energia non è una conoscenza strutturata in quanto si tratta di un concetto fondamentale di tutta la fisica dell'interazione[11]. Come scrisse Popper: *"[L'energia è uno di quei] concetti indefiniti che compaiono soltanto come asserzioni caratterizzate dal più alto livello di universalità, ed il cui uso è stabilito dal fatto che sappiamo in quale relazio-*

ne logica stanno, nei loro confronti, gli altri concetti". [12]

Questa breve discussione sull'elaborazione del concetto di energia mette in evidenza il ruolo che la storia della scienza può svolgere nei processi educativi. J. Teichmann[13] dopo aver affermato: *"... [la storia] può anche essere utilizzata semplicemente come un patrimonio da cui far rivivere idee dimenticate ma utili..."*, traccia uno schema in sette punti nel quale riassume le varie possibilità di usare la storia della fisica a fini didattici. In uno di questi punti, il quarto, egli sostiene: *"Lo sviluppo di un problema contribuisce ad una maggior chiarezza rispetto alla trattazione sistematica del problema poiché, le difficoltà emerse e succedutesi nella storia possono essere considerate analoghe alle difficoltà di comprensione del discente"*. E su questo stesso argomento, G. Bachelard[14] aveva già scritto: *"Bisogna soprattutto far comprendere la molteplicità delle difficoltà che hanno ostacolato il progresso. Riguardo a ciò, senza arrivare ad affermare - alla maniera di Auguste Comte - il parallelismo tra lo sviluppo dell'individuo e lo sviluppo dell'umanità, parallelismo troppo semplicistico per fornire spunti fecondi, è certo che la storia delle scienze è ricca di insegnamenti per la pedagogia"*.

Il divenire del concetto di energia è fondamentale non solo per comprendere lo sviluppo della fisica e i salti epistemologici che l'hanno caratterizzato, ma anche per individuare le situazioni didattiche che, nell'ambito di un modello pedagogico efficace, possono consentire agli allievi quei salti cognitivi tipici del superamento di un ostacolo concettuale che caratterizzano l'apprendimento.

3 - CONOSCENZA SCIENTIFICA E CONOSCENZA COMUNE

Come abbiamo visto, l'energia è un concetto formale che acquista significato nel contesto del principio di conservazione, ma occorre tenere presente che lo scienziato considera l'energia anche dal punto di vista qualitativo. Infatti, il secondo principio della termodinamica stabilisce che il capitale energia può evolvere unicamente nel senso di una perdita di qualità o degradazione. Quando parla di degradazione dell'energia, lo scienziato intende dire che dell'energia di tipo non termico, si trasforma

in energia termica. Per esempio, quando un atleta "riscalda i muscoli" o un corridore di Formula 1 "riscalda il motore", l'atleta ed il motore producono energia meccanica. L'energia termica prodotta contemporaneamente dall'atleta o dal motore è, quasi sempre, inutilizzabile, inutile. Un fisico direbbe che l'energia utilizzabile si degrada, in quanto una parte si trasforma in calore.

Al concetto scientifico di "degradazione" fa da contraltare la nozione di "consumo dell'energia" tipica del sapere comune. Per il fisico non è l'energia in quanto tale che viene consumata, ma è la **qualità** dell'energia che viene **svalutata**. Basta questo esempio relativo al problema della "degradazione" (nozione scientifica) e del "consumo" (nozione comune) dell'energia, per rendersi conto che esiste un divario notevole tra le concezioni scientifiche e quelle del sapere ordinario socialmente condiviso. Quindi gli allievi si trovano di fronte non solo alle difficoltà di apprendimento legate alla complessità intrinseca del concetto di energia, ma anche agli ostacoli frapposti dal sapere comune, ossia da quell'insieme di conoscenze, prodotto spontaneamente dai membri di un gruppo sociale, fondato sulla tradizione e sul consenso; si tratta di una somma di immagini mentali collegate da legami di origine scientifica, mutuati dal contesto culturale e trasformati al fine di servire nella vita di ogni giorno[15].

Come sostiene Solomon[16], coloro che imparano sono nella poco confortevole situazione di vedere il mondo attraverso due "filtri" diversi: quello della vita quotidiana e quello della scuola. Da una parte, la scuola tende a portare gli allievi ad appropriarsi di idee "scientifiche" a proposito di fatti naturali. D'altra parte, al di fuori del contesto scolastico, gli allievi sono immersi in un contesto sociale nel quale circola un ampio repertorio di idee e di schemi interpretativi di "senso comune" che l'insegnamento scolastico contrasta con difficoltà, in quanto questi sono continuamente rinforzati dalle discussioni e conversazioni quotidiane, dalle informazioni fornite dai mezzi di comunicazione, dai messaggi pubblicitari, ecc. Solomon[16] definisce "sovversiva" l'influenza di questi schemi interpretativi di "senso comune" nel confronto dell'educazione alle scienze.

4 - APPRENDIMENTO E CONCEZIONI DEGLI ALLIEVI

Quanto è stato detto, a proposito dei concetti scientifici e delle idee tipiche del sapere comune concernenti l'energia, è sufficiente per comprendere l'importanza dello studio delle concezioni iniziali degli allievi. Tale studio si rivela indispensabile quando l'apprendimento è concepito come "costruzione" di sapere da parte di colui che apprende, impegnato in una continua ristrutturazione dei propri reticoli concettuali. Il modello di apprendimento al quale facciamo riferimento [17] privilegia una strategia nella quale l'allievo è coautore del proprio sapere, insieme ai compagni del gruppo classe ed all'insegnante. L'apprendimento ha come punto di partenza una situazione problematica che l'allievo può affrontare con strumenti mentali di cui già dispone: le proprie concezioni. In base a queste, egli pone delle domande, organizza i propri ragionamenti, avanza previsioni e dà un senso alle nuove informazioni. L'allievo impara quindi a partire dalle proprie concezioni iniziali che costituiscono gli strumenti di lavoro con le quali egli affronta, in un primo tempo, le situazioni problematiche che gli vengono proposte. Egli è disposto a modificarle o a sostituirle soltanto quando si rende conto che queste non sono più in grado di farlo uscire da una situazione problematica, rivelandosi quindi limitate, meno feconde, al limite insostenibili, rispetto ad altre già espresse; da questo momento l'apprendimento si realizza contro le concezioni iniziali. Secondo questo modello, l'apprendimento è significativo quando si produce in un contesto di conflitti socio-cognitivi nel quadro dei quali l'allievo lavora con le proprie concezioni per andare **contro** queste.

Si tratta di una strategia pedagogica che tiene conto delle idee degli epistemologi contemporanei a proposito della natura della scienza e delle attività che svolgono gli scienziati per elaborare conoscenze scientifiche, attività in cui giocano un ruolo importantissimo la raccolta delle informazioni, il lavoro di gruppo, le discussioni tra pari, la costruzione di modelli. In questa strategia entra anche il lavoro sperimentale, ma questo sicuramente non svolge il ruolo che gli viene assegnato da certi approcci basati su una concezione attivistica dell'apprendimento e su un'idea del-

la scienza di tipo empirico-realista. L'attività scientifica non si riduce all'esperimento, e la scienza non trova i suoi fondamenti nell'osservazione senza pregiudizi e nella sperimentazione non guidata da congetture teoriche.

Dopo questa succinta esposizione del modello d'apprendimento al quale facciamo riferimento, riteniamo sia comprensibile il motivo per cui ci interessiamo alle opinioni degli allievi sull'energia. Se le concezioni iniziali di un soggetto che apprende sono i primi strumenti ai quali ricorre per costruire il proprio sapere, risulta importante conoscerle per organizzare un intervento didattico che possa inizialmente appoggiarsi su queste idee per andare **oltre** e, se necessario, **contro** di esse. Nello stesso tempo, studiando le concezioni sull'energia di allievi che entrano nella scuola media e di allievi che stanno per uscirne, possiamo operare un confronto e stabilire quale effetto abbia avuto su di esse l'insegnamento tradizionale.

Questo studio è stato quindi intrapreso allo scopo di mettere in evidenza quali idee abbiano a proposito dell'energia un certo numero di allievi della scuola secondaria di primo grado (1a, 2a e 3a media, età compresa tra undici e quattordici anni). I risultati così acquisiti dovrebbero fornire indicazioni utili per progettare un percorso di apprendimento che, usando le concezioni iniziali degli allievi come primi "strumenti di lavoro", permetta di introdurre il concetto di energia e quello associato di "trasferimento". Questo studio comprendente anche la seconda parte di prossima pubblicazione, è stato intrapreso allo scopo di mettere in evidenza quali idee abbiano a proposito dell'energia un certo numero di allievi della scuola media (età compresa tra 11 e 14 anni). Si tratta di un'indagine che non pretende di avere un carattere qualitativo, nel senso che i dati ottenuti non sono estrapolabili all'insieme degli allievi di scuola media: i risultati riflettono la situazione relativa agli allievi presi in considerazione. E' questa unica ed irripetibile? L'esperienza acquisita durante gli ultimi anni nell'ambito dei corsi di aggiornamento e formazione degli insegnanti, ci porta a ritenere che situazioni analoghe siano frequenti per due ragioni: la formazione iniziale degli insegnanti e, soprattutto, l'approccio adottato dalla generalità dei libri di testo per affrontare il tema "energia". Quindi pensiamo che

i risultati di questa ricerca possano interessare un certo numero di insegnanti che si interrogano sull'efficacia del proprio intervento didattico.

5 - IL QUESTIONARIO SUL CONCETTO DI ENERGIA

Al fine di mettere in evidenza cosa pensano gli allievi a proposito dell'energia, si è fatto ricorso ad un questionario costruito in modo da soddisfare tre esigenze:

- essere semplice da usare;
- essere facilmente compreso dagli allievi;
- fornire informazioni su un certo numero di aspetti, in particolare:
 - sulle idee degli allievi a proposito dell'energia;
 - sulle idee degli allievi a proposito di sistemi che hanno a che fare con l'energia.

Sulla base di strumenti usati in altri Paesi, si è messo a punto un questionario in tre parti: nella prima, si chiede agli allievi di associare al termine "stimolo" energia alcuni sostantivi da questo evocati; nella seconda parte, gli allievi devono rispondere alla domanda: "secondo te, cos'è l'energia?"; nella terza parte, agli allievi vengono presentati i disegni di quindici sistemi aventi a che fare con l'energia: ad ognuno di questi, ogni allievo deve associare una espressione relativa all'energia, scelta in una serie di dieci espressioni proposte. Per le prime due parti si è fatto riferimento alle ricerche di Duit [18] e Trumper [19], mentre per la terza parte si è fatto riferimento ai lavori di Bliss e Ogborn [20] e di Nicholls e Ogborn [21].

La prima e la seconda parte del questionario sono state somministrate agli stessi allievi verso la fine dell'anno scolastico 1993/1994 (maggio 1994), ad una settimana di distanza, nel corso di una normale lezione di scienze. La terza parte è stata somministrata ad altri allievi verso la fine dell'anno scolastico 1995/1996 (maggio 1996) sempre nel corso di una normale lezione di scienze. Gli insegnanti che hanno collaborato a questa ricerca partecipavano ad un corso di formazione/aggiornamento organizzato dall'IRRSAE Piemonte. In tutti i casi, i questionari erano anonimi e l'insegnante prima della somministrazione ha spiegato agli allievi che si trattava di un lavoro di ricerca condotto in collaborazione con l'Università. Inoltre ha precisato che i ricercatori erano interessati a ciò

che effettivamente gli allievi pensavano e non alle risposte "giuste" secondo i criteri scolastici.

6 - ASSOCIAZIONE DI PAROLE

Il test di associazione di parole è stato proposto ad allievi di alcune scuole medie inferiori del Piemonte, così ripartiti: classe prima, 95 allievi; classe seconda, 100 allievi; classe terza, 107 allievi. Ad ognuno è stato consegnato un foglietto sul quale era ripetuto cinque volte il vocabolo "stimolo" **energia** al quale dovevano essere associati al massimo cinque sostantivi, nel tempo di un minuto. Questa tecnica, detta di associazione libera di parole, consente di evidenziare le associazioni più spontanee ed immediate con il termine stimolo. I termini associati sono stati analizzati ricorrendo a due metodi di rappresentazione dei dati: le mappe di isofrequenza e le mappe topologiche. Questi due metodi hanno in comune il procedimento iniziale di conteggio e di sintesi dei dati che viene esposto nel paragrafo che segue.

6.1 - CONTEGGI DI BASE

Le parole associate al termine stimolo **energia** dagli allievi di una stessa classe costituiscono un unico insieme: si dispone quindi di tre insiemi di termini associati, riferiti rispettivamente agli allievi delle classi prima, seconda e terza.

Per ogni insieme è stato conteggiato il numero totale di sostantivi associati **S**. Per ogni sostantivo, si è conteggiato il numero di allievi (o effettivo) n_i che lo hanno associato al concetto di riferimento "energia": sia **N** la somma di tutti gli n_i . Disposti i sostantivi in ordine decrescente di effettivo, per ognuno di essi è stata calcolata la frequenza percentuale f_i :

$$f_i = \frac{n_i}{N} \times 100$$

Per ciascun sostantivo di ogni insieme, è stata poi calcolata la frequenza percentuale cumulata F_k sommando le frequenze percentuali del **kesimo** sostantivo in esame e di tutti quelli che lo precedono:

$$F_k = \sum_{i=1}^k f_i$$

58

La frequenza percentuale cumulata dell'ultimo sostantivo di ogni insieme sarà quindi uguale a cento:

$$FN = 100$$

Ad ogni sostantivo è pure associato un valore y costante dato da:

$$y = 100/S$$

mediante il quale è possibile calcolare il valore dell'indice **FI** (si veda il paragrafo 6.2).

Come esempio, nella tabella 1 sono riportati, per la classe prima, i sostantivi associati al termine stimolo con i rispettivi indici: **f**, **F** e **y**.

6.2 - MAPPE DI ISOFREQUENZA

Gli insiemi dei sostantivi associati dagli allievi delle tre classi sono for-

che servono per suddividere ciascun insieme di elementi in sottoinsiemi, ognuno dei quali è costituito da elementi che debbono avere alcune caratteristiche in comune. Per localizzare un filtro si tengono presenti due condizioni :

i) la differenza fra le frequenze cumulative dei vocaboli che precedono immediatamente due filtri successivi deve essere compresa tra il 25% ed il 30%;

ii) il filtro non deve separare vocaboli aventi lo stesso effettivo.

Di conseguenza, per collocare il primo filtro (FF_1) occorre innanzi tutto

Tabella 1. Associazione di parole (classe prima - Le parole sono in ordine decrescente di effettivo (nella tabella sono riportati solo i primi 50 sostantivi

mati rispettivamente da 79 elementi (classe prima), 91 elementi (classe seconda) e 96 elementi (classe terza). I valori della frequenza percentuale **f** sono compresi tra 9,44 e 0,29 (classe prima), 10,49 e 0,31 (classe seconda), 12,14 e 0,24 (classe terza). L'analisi dei tre insiemi può essere condotta stabilendo dei livelli di lettura o filtri[22]

individuare un valore di frequenza percentuale cumulata (**F**) compreso tra i limiti prima indicati (25% - 30%). Si verifica poi che il sostantivo ad esso corrispondente abbia effettivo diverso da quello del sostantivo che lo segue. In caso contrario, si cerca un sostantivo con effettivo maggiore o minore e che soddisfi la seconda

condizione. Nel caso delle classi prime (tabella 1), il primo filtro viene collocato all'altezza del termine "sole" di rango 3, per il quale:

$$FF_1 = 28,02$$

Per collocare il secondo filtro (FF_2), si cerca un valore della frequenza percentuale cumulata (F_n), tale che il valore ($F_n - FF_1$) sia compreso tra 25% e 30% e per il quale sia rispettata la seconda condizione. Si può allora scegliere (tabella 1) il valore $F_8 = 55,46$ di modo che:

$$FF_2 = F_8 - FF_1 = 55,46 - 28,02 = 27,44$$

Con i sostantivi che rimangono, si procede in modo analogo per collocare il terzo ed il quarto filtro. In questo modo, ognuno degli insiemi di cui si dispone viene suddiviso in quattro sottoinsiemi, con valori abbastanza vicini della frequenza cumulata dei termini che appartengono al filtro. Per il filtro di ogni sottoinsieme, si è calcolato inoltre il valore di un quarto indice: la frequenza percentuale cumulata dell'informazione (FI), ottenuta

ta sommando i valori y di ogni sottoinsieme che appartiene al sottoinsieme considerato. Ad esempio, per la classe prima (tabella 1) si ha che:

$$FI_1 = 1,27 \cdot 3 = 3,81$$

Se prendiamo in considerazione i dati relativi alle tre classi si ha che, per il primo sottoinsieme, il valore di FF_1 è compreso tra 28,0% (classe prima) e 29,6% (classe terza), mentre il valore di FI_1 è compreso tra 3,1% (classe terza) e 3,8% (classe prima). Per il secondo sottoinsieme, il valore di FF_2 è compreso tra 25,5% (classe terza) e 27,5% (classe seconda), mentre il valore di FI_2 è compreso tra 5,2% (classe terza) e 7,7% (classe seconda). Nel terzo sottoinsieme, il valore di FF_3 è compreso tra 24,5% (classe terza) e 27,5% (classe seconda), mentre il valore di FI_3 è compreso tra 20,8% e 30,8%. Infine, per l'ultimo sottoinsieme, che non compare nella tabella, il valore di FI_4 è compreso tra 58,2% (classe seconda) e 70,7% (classe terza). Gli ultimi valori indicano che questo sottoinsieme è costituito da un numero elevato di sostantivi i cui ef-

fettivi sono molto piccoli (e nella maggior parte dei casi uguale ad uno); si tratta quindi del sottoinsieme meno significativo.

La somma dei valori di FF_1 e di FF_2 è sempre superiore al 50%, mentre i sottoinsiemi compresi nei primi due sottoinsiemi rappresentano circa il 10% dei sostantivi associati al termine stimolo. Per questo motivo, tali sostantivi acquisiscono un *peso* superiore a quello dei sostantivi degli altri due sottoinsiemi che ne contengono il restante 90%.

E' possibile rappresentare la distribuzione dei sostantivi all'interno dei sottoinsiemi con un *diagramma di isofrequenza* nel quale i sostantivi sono distribuiti sul piano, all'interno di corone circolari concentriche i cui raggi rappresentano i filtri. La distanza dei vocaboli dal centro dipende dalla loro frequenza, mentre la loro collocazione è funzione dell'affinità con i vocaboli degli altri sottoinsiemi. E' così possibile individuare sei gruppi di parole, trasversali ai filtri, che costituiscono delle *categorie*.

In ognuna delle figure 1, 2 e 3 (riferite rispettivamente alle classi prima, se-

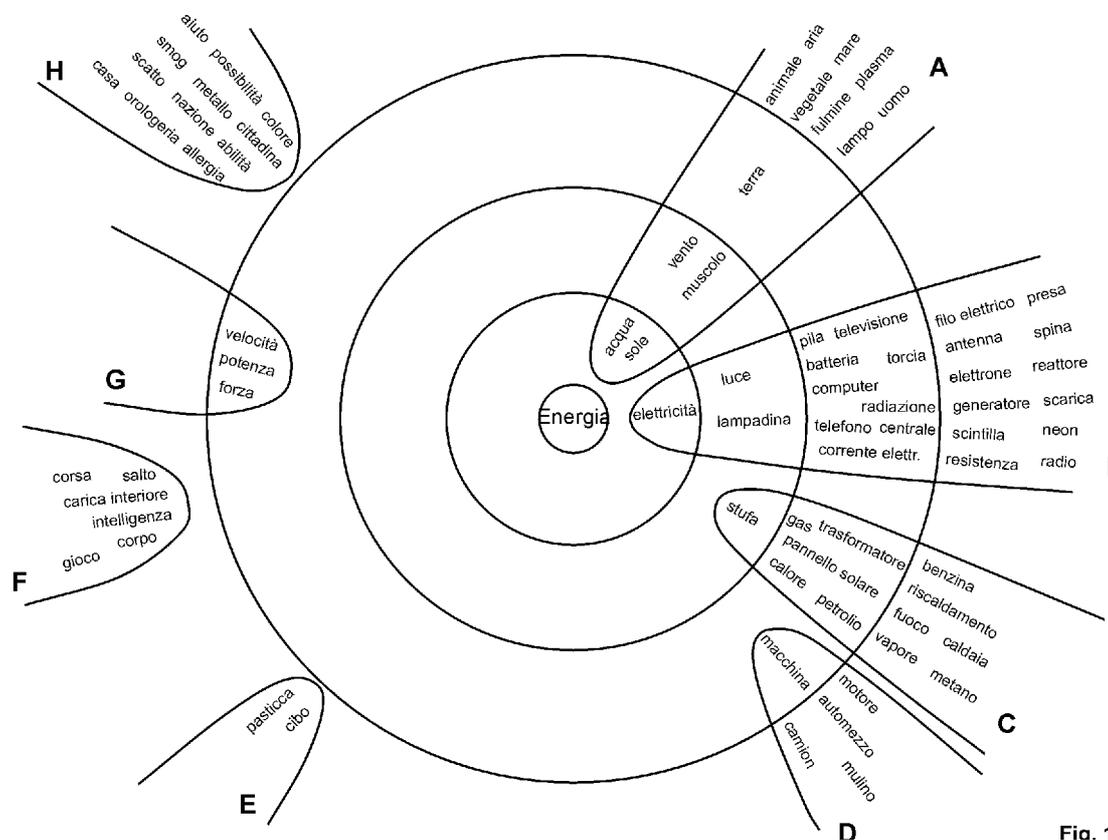


Fig. 1

Figura 1. Diagramma di isofrequenza (classe prima) A: oggetti e fenomeni naturali; B: oggetti e fenomeni elettrici; C: oggetti e fenomeni termici; D: oggetti e fenomeni meccanici; E: oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione; F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfe; G: senso comune; H: altro

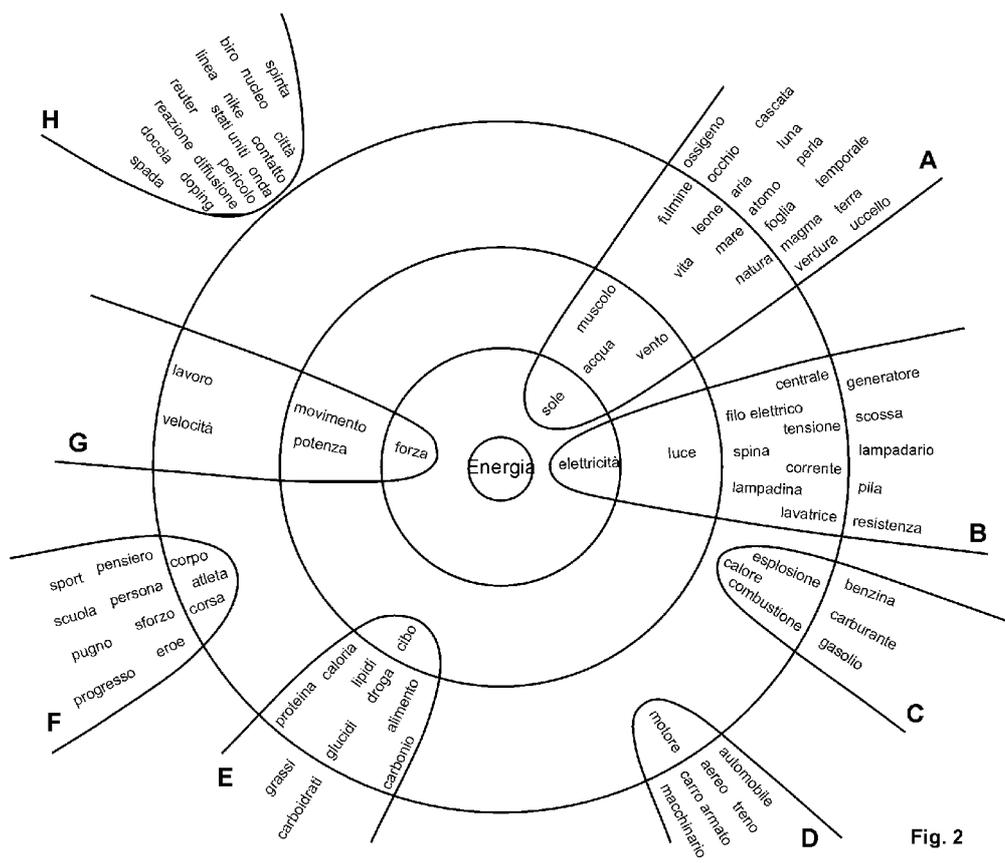


Fig. 2

Figura 2. Diagramma di isofrequenza (classe seconda) A: oggetti e fenomeni naturali; B: oggetti e fenomeni elettrici; C: oggetti e fenomeni termici; D: oggetti e fenomeni meccanici; E: oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione; F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfe; G: senso comune; H: altro

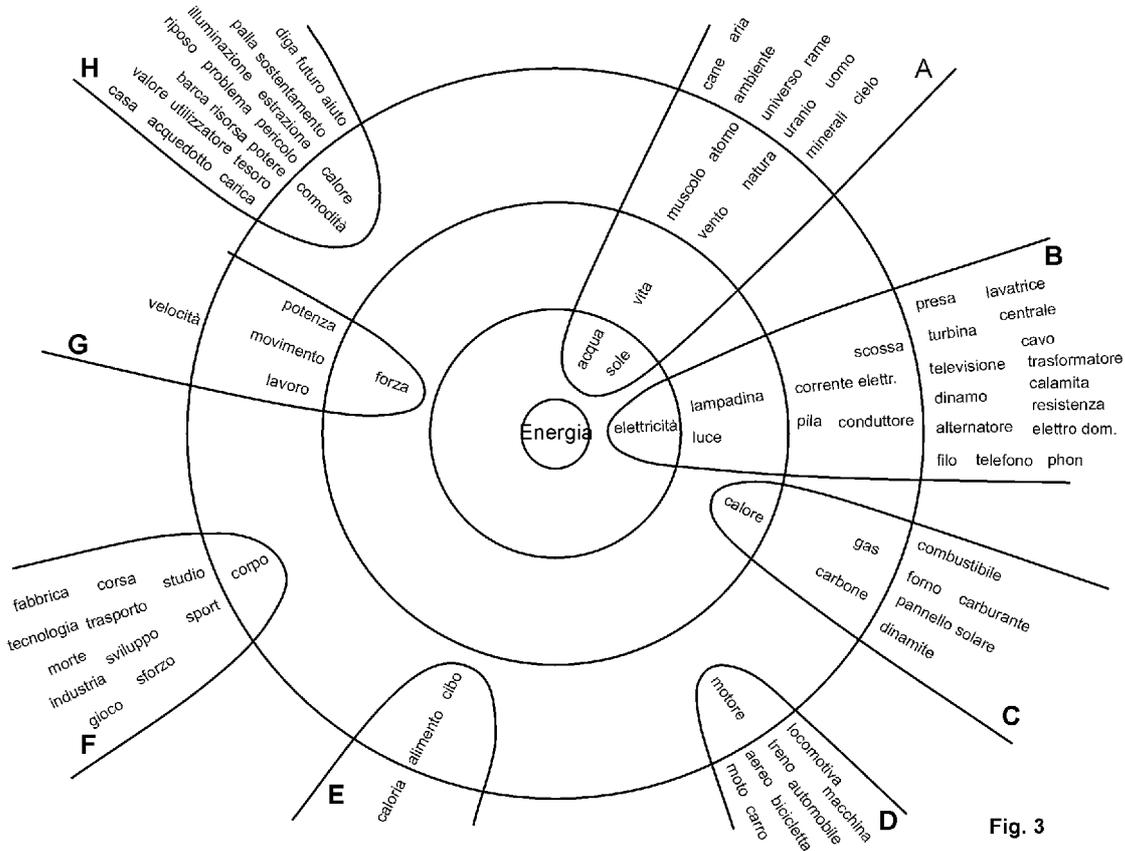


Fig. 3

Figura 3. Diagramma di isofrequenza (classe seconda) A: oggetti e fenomeni naturali; B: oggetti e fenomeni elettrici; C: oggetti e fenomeni termici; D: oggetti e fenomeni meccanici; E: oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione; F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfe; G: senso comune; H: altro

conda e terza) sono disegnate quattro circonferenze concentriche, la più interna delle quali contiene il vocabolo stimolo **energia**, mentre le altre tre rappresentano i filtri. La porzione di piano compresa tra due circonferenze consecutive rappresenta un **livello di lettura** ed indica quale significatività abbiano per gli allievi, in termini di energia, i vocaboli in essa compresi. Quanto più un sostantivo è collocato in prossimità del cerchio centrale, tanto più esso è in relazione, per gli allievi, con il concetto di energia. Il problema che si pone a questo punto è il seguente: come raggruppare i vocaboli in classi? Quale criterio adottare? Tenendo presente che l'associazione di parole è una tecnica che dovrebbe permettere di mettere in evidenza quali sono i concetti che ogni soggetto collega in modo più immediato e spontaneo con il concetto "stimolo", abbiamo adottato un criterio semplice che consente di evidenziare a quale tipo di oggetti e fenomeni gli allievi associano l'idea di energia.

Abbiamo quindi raggruppati i vocaboli associati in queste otto categorie:

- A : oggetti e fenomeni naturali;
- B : oggetti e fenomeni elettrici;
- C : oggetti e fenomeni termici;

- D : oggetti e fenomeni meccanici;
- E : oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione;
- F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfe;
- G: senso comune;
- H: altro.

Alcuni sostantivi, indubbiamente, pongono dei problemi di interpretazione e quindi di collocazione all'interno di queste categorie. Per esempio, il sostantivo *luce* è stato attribuito alla categoria **B**, oggetti e fenomeni elettrici, perché, nel linguaggio quotidiano, viene usato come sinonimo di corrente elettrica in espressioni quali "attacca la luce". Parimenti, i sostantivi *petrolio* e *metano* sono stati collocati nella categoria **C**, ma si potrebbero anche collocare nella categoria **A**; in quest'ultimo caso, si tratta di sostantivi che ricadono nel terzo e quarto sottoinsieme e quindi scarsamente significativi. Questi sono problemi che si incontrano ogni volta che si tenta di interpretare il pensiero scritto di un altro soggetto e che potrebbero essere risolti soltanto con interviste individuali.

Per tutti i livelli di scolarità, le categorie A e B presentano i valori più elevati di effettivo e di frequenza percentuale, anche se i rapporti fra le due

categorie sono diversi. Per la classe prima, la categoria B (38,6%), comprendente oggetti e fenomeni relativi all'elettricità, prevale sulla categoria A (33%), comprendente oggetti e fenomeni naturali. Per la classe seconda, la categoria A (30,6%) prevale sulla categoria B (20,7%), mentre per la classe terza le due categorie si equivalgono (31,8% e 31,1% rispettivamente). La categoria G viene in terza posizione nelle classi seconda e terza ma non nella classe prima. Il fatto è comprensibile se si tiene conto che, con ogni probabilità, gli allievi delle classi seconda e terza hanno già affrontato l'argomento energia. Questo viene insegnato dopo che sono state introdotte, a livello puramente verbale, i concetti di forza e lavoro ed a partire da situazioni in cui entra in gioco il "movimento", la "potenza" e la "velocità" di svariati corpi. Si tratta dunque di una categoria in cui compaiono termini scientifici che però non hanno per gli allievi alcun significato di tipo scientifico. Invece, per la classe prima, la terza categoria in ordine di grandezza, è la categoria C, che comprende oggetti e fenomeni legati al calore.

Quasi tutte le categorie variano di significatività in modo discontinuo nel passaggio dalla classe prima alla classe terza. Con ogni probabilità, queste variazioni sono dovute ad interventi didattici più o meno recenti su argomenti che mettono in gioco il concetto di energia. Poiché le categorie A e B, quelle che prevalgono in tutte le classi, sono costituite da sostantivi che si riferiscono ad oggetti comuni, è lecito pensare che il concetto di energia sia di preferenza legato a idee che fanno parte del sapere comune, derivate da esperienze quotidiane, piuttosto che a concetti formali, veicolati dalle attività scolastiche di insegnamento/apprendimento delle scienze.

6.3 MAPPE TOPOLOGICHE

L'insieme dei dati è stato analizzato anche con un secondo approccio, basato sul confronto per livello di similitudine (tabelle 2, 3 e 4). Nelle tabelle 2 e 3 si mettono a confronto coppie di classi (prima - seconda, seconda - terza e terza - prima), mentre nella tabella 4 si effettua un confronto tra tre livelli di scolarità. Poiché si considerano solo i termini comuni alle due classi considerate, compaiono anche i termini con effettivo uguale a 1.

Talella 2. Mappe topologiche: livelli di similitudine per coppie di classi

Prima - Seconda				Seconda - Terza				Terza - Prima						
I	%	%	II	II	%	%	III	III	%	%	I			
32	58	acqua	42	23	23	40	acqua	60	34	34	52	acqua	48	32
1	50	aria	50	1	1	33	aereo	67	2	1	50	aiuto	50	1
2	67	benzina	33	1	2	40	alimento	60	3	1	50	aria	50	1
3	33	calore	67	6	1	50	aria	50	1	15	83	calore	17	3
3	50	centrale	50	3	1	25	atomo	75	3	1	50	casa	50	1
1	7	cibo	93	14	1	25	automobile	75	3	1	25	centrale	75	3
1	25	corpo	75	3	6	29	calore	71	15	6	86	cibo	14	1
1	14	corsa	86	6	4	80	caloria	20	1	4	80	colore	20	1
32	55	elettricità	45	26	1	50	carburante	50	1	3	75	corpo	25	1
1	33	filo elettrico	67	2	3	75	centrale	25	1	8	50	corrente elet.	50	8
10	23	forza	77	34	14	70	cibo	30	6	1	50	corsa	50	1
1	25	fulmine	75	3	4	80	combustibile	20	1	38	54	elettricità	46	32
1	50	generatore	50	1	3	50	corpo	50	3	22	69	forza	31	10
23	82	lampadina	18	5	6	86	corsa	14	1	3	33	gas	67	6
23	59	luce	41	16	26	41	elettricità	59	38	1	50	gioco	50	1
1	33	mare	67	2	34	61	forza	39	22	15	39	lampadina	61	23
2	29	motore	71	5	5	25	lampadina	75	15	31	57	luce	43	23
18	72	muscolo	28	7	3	75	lavatrice	25	1	2	29	macchina	71	5
4	80	pila	20	1	2	40	lavoro	60	3	8	80	motore	20	2
6	38	potenza	63	10	16	34	luce	66	31	4	18	muscolo	82	18
1	50	resistenza	50	1	5	38	motore	62	8	2	40	pannello sol.	60	3
31	48	sole	52	33	7	37	movimento	63	12	9	69	pila	31	4
1	25	spina	75	3	7	64	muscolo	36	4	12	67	potenza	33	6
3	75	terra	25	1	2	40	natura	60	3	2	50	presa	50	2
3	60	velocità	40	2	1	33	pericolo	67	2	1	50	resistenza	50	1
18	60	vento	40	12	1	10	pila	90	9	50	62	sole	38	31
					10	45	potenza	55	12	1	17	telefono	83	5
					1	50	resistenza	50	1	1	14	televisione	86	6
					1	25	scossa	75	3	2	50	uomo	50	2
					1	33	sforzo	67	2	2	40	velocità	60	3
					33	40	sole	60	50	4	18	vento	82	18
					1	50	sport	50	1					
					1	33	treno	67	2					
					2	50	velocità	50	2					
					12	75	vento	25	4					
					2	8	vita	92	22					

6.3.1 Confronto dei livelli di similitudine per coppie di classi

Nella tabella 2 sono riportati i 26 vo-

cupa quella estremo. Si consideri, ad esempio, il vocabolo "pila" le cui percentuali nel confronto tra le classi Terza e Prima valgono, rispettivamente

se Terza (69%). E' evidente che i sostantivi che si collocano in prossimità del centro del segmento hanno la stessa significatività per le classi che

Prima - Seconda				Seconda - Terza				Terza - Prima			
I	%		% II	II	%		% III	III	%		% I
31	48	sole	52	33	40	sole	60	2	40	pannello sol.	60
1	50	aria	50	2	40	alimento	60	2	40	velocità	60
3	50	centrale	50	2	40	lavoro	60	1	50	aiuto	50
1	50	generatore	50	2	40	natura	60	1	50	aria	50
1	50	resistenza	50	23	40	acqua	60	1	50	cassa	50
32	55	elettricità	45	26	41	elettricità	50	9	50	comente elet.	50
32	58	acqua	42	29	10	potenza	55	1	50	corsa	50
23	59	luce	41	16	1	aria	50	1	50	gioco	50
3	60	velocità	40	2	1	carburante	50	2	50	press	50
18	60	vento	40	12	3	corpo	50	1	50	resistenza	50
					1	resistenza	60	2	50	uomo	50
					1	sport	50	34	52	acqua	48
					2	velocità	50	38	54	elettricità	46
								31	57	luce	43

CATEGORIE	n° elem	tot. eff.
A	4	151
B	5	107
C	0	0
D	0	0
E	0	0
F	0	0
G	1	5
H	0	0

CATEGORIE	n° elem	tot. eff.
A	4	147
B	2	96
C	1	2
D	0	0
E	1	5
F	2	8
G	3	31
H	0	0

CATEGORIE	n° elem	tot. eff.
A	3	72
B	5	146
C	1	5
D	0	0
E	0	0
F	2	4
G	1	5
H	2	4

Tabella 3. Mappe topologiche: livelli di similitudine per coppie di classi (sostantivi con percentuali comprese tra 40% e 60%)

caboli comuni alle classi Prima - Seconda, i 36 vocaboli comuni alle classi Seconda - Terza e i 31 vocaboli comuni alle classi Terza - Prima. A ciascun vocabolo sono associati, per ogni classe, i corrispondenti effettivi ed i relativi valori percentuali calcolati sulla somma degli effettivi. Così, per le classi Prima - Seconda, l'effettivo totale del sostantivo **acqua** vale 55 (32 per la classe prima e 23 per la classe seconda). L'effettivo 32 della classe prima costituisce il 58% dell'effettivo totale, mentre l'effettivo 23 della classe seconda rappresenta il 42% dell'effettivo totale. In questo modo si ricavano i valori che figurano nella tabella. Per ogni coppia di livelli di scolarità, si possono riportare i valori percentuali su di un segmento la cui lunghezza è posta uguale a cento unità (figure 4, 5 e 6).

Alle due estremità si pongono le due classi, mentre lungo il segmento si dispongono i vocaboli comuni in modo che la loro posizione sia determinata dalle percentuali calcolate nel modo che è stato appena descritto. La somma delle distanze geometriche di un vocabolo dalle due estremità del segmento è ovviamente uguale a cento. Quanto più un vocabolo è lontano da una delle due estremità, tanto minore è il suo significato concettuale in termini di energia per la classe che oc-

te, 69 e 31 (tabella 2). Questi valori indicano che il sostantivo "pila" è meno significativo per la classe Prima (31%) e più significativo per la clas-

se Terza (69%). E' evidente che i sostantivi che si collocano in prossimità del centro del segmento hanno la stessa significatività per le classi che

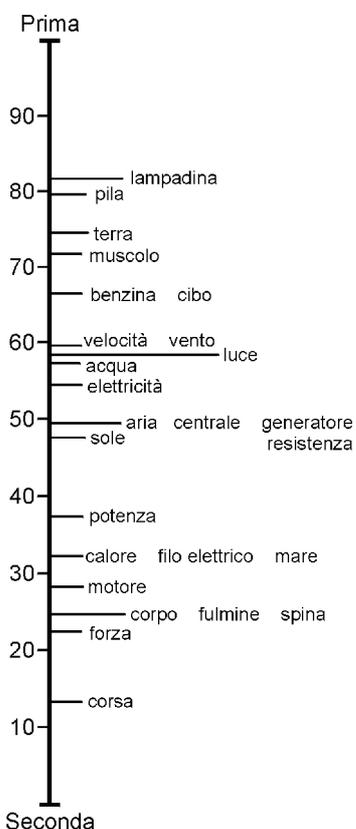


Figura 4. Rappresentazione lineare dei livelli di similitudine (classi prima e seconda)

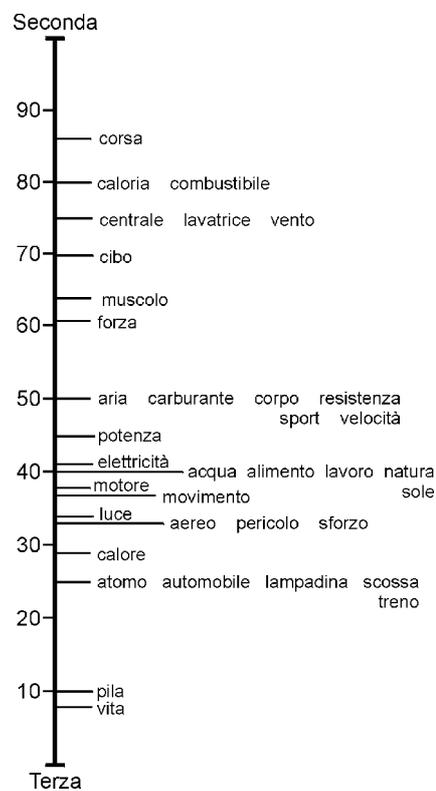


Figura 5. Rappresentazione lineare dei livelli di similitudine (classi seconda e terza)

sa tra il 40% ed il 60%. Si è preferito riportare i vocaboli compresi tra questi valori percentuali per includere anche quelli con effettivo maggiore di uno. Infatti, se si prendessero in considerazione solamente i sostantivi la cui percentuale è uguale a 50 (e quindi esattamente equidistanti dalle estremità dei segmenti), troverebbero posto solo quelli con effettivo molto piccolo e quindi poco significativo. Considerando, invece, un intervallo di ampiezza percentuale 50 ± 10 , si trovano anche sostantivi con effettivo molto maggiore di uno.

Nella stessa tabella sono indicate, accanto ai sostantivi, le categorie di appartenenza e, nella parte bassa, il numero di vocaboli e il totale dei corrispondenti effettivi per ogni categoria. Come si può notare, le categorie A e B contengono sempre il maggior numero di vocaboli ed i loro effettivi sono sempre i più elevati. In base a

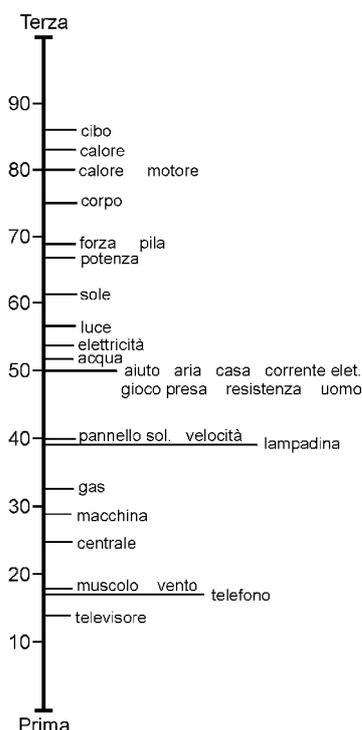


Figura 6. Rappresentazione lineare dei livelli di similitudine (classi terza e prima)

questi risultati, si può concludere che oggetti e fenomeni naturali ed elettrici, trovandosi in posizione di equidistanza tra ciascuna coppia di classi, sono le due categorie maggiormente significative, in termini di energia, per gli allievi dei tre livelli di scolarità.

7 - CONCLUSIONE

Mediante la tecnica di associazione di parole, si è messo in evidenza che gli allievi associano di preferenza al termine "stimolo" energia, sostantivi aventi una qualche relazione con oggetti e fenomeni elettrici e naturali: elettricità, lampadina, corrente elettrica, televisore, pila, batteria, sole, acqua, vento, ecc. Per gli allievi delle classi seconda e terza, si trovano in terza posizione sostantivi (movimento, forza, lavoro, potenza ecc.) che vengono utilizzati per l'insegnamento tradizionale del concetto di energia come "qualcosa che compie lavoro". Gli allievi della classe prima collocano invece in terza posizione sostantivi appartenenti alla categoria oggetti e fenomeni termici: stufa, gas, termosifone, calore, ecc..

Per quanto riguarda le prime due categorie, i nostri risultati sono in accordo con quelli ottenuti in altri Paesi, quali Israele e Gran Bretagna. Dal punto di vista del tenore di vita e degli oggetti "energetici" che lo caratterizzano, il contesto sociale dell'Italia e degli altri due Paesi è simile e questo può spiegare il fatto che le idee iniziali dei ragazzi sull'energia si assomiglino. Dal punto di vista dell'insegnamento, questi risultati suggeriscono di avviare la costruzione del concetto di "quel qualcosa chiamato energia" da sistemi in cui entri in gioco l'elettricità ed i cui elementi costitutivi abbiano a che vedere con l'elettricità (pila, batteria, lampadina, ecc.) o con corpi naturali (sole, acqua, vento, ecc.) che intervengono nella produzione di elettricità.

Ringraziamenti - Ringraziamo il prof. Paolo Mirone dell'Università di Modena ed i prof. Pier Giorgio Albertazzi ed Alberto Regis dell'ITIS "Q.Sella" di Biella che hanno accettato di leggere questo lavoro e che hanno contribuito alla sua redazione con osservazioni e critiche pertinenti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G.B. Schmid, *Physics Education*, 1982, 17, 212-218.
- [2] J. Warren, *Physics Education*, 1986, 21, 154-156.
- [3] J. Solomon, *Getting to know about energy in school and society*. Falmer Press, London, 1992.
- [4] R. Trumper, *International Journal of Science Education*, 1993, 15, 139-148.
- [5] Y. Elkana, *La scoperta della conservazione dell'energia*. G. Feltrinelli, Milano, 1977.
- [6] T. Young, *Lectures in Natural Philosophy, 1807*. In: Elkana, rif 5.
- [7] A. Lavoisier, Laplace P.-S., *Mémoire sur la chaleur, 1783*. Gauthiers - Villars, Parigi, 1920.
- [8] J.C. Maxwell, *Nature*, 1877. In: Elkana, rif 5.
- [9] G. Cantoni, *Rivista di filosofia scientifica*, 1881, 1, 3-14.
- [10] R.P. Feynman, *La fisica di Feynman*. Masson Italia, Milano, 1992.
- [11] J.-L. Trellu, J. Toussaint, *Aster*, 1986, n 2, 43-88.
- [12] K. Popper, *Logica della scoperta scientifica*. G. Einaudi, Torino, 1970.
- [13] J. Teichmann, *L'esperienza storico nell'insegnamento della fisica*. In: F. Bevilacqua, *Storia della fisica*. F. Angeli, Milano, pp. 31-60, 1983.
- [14] G. Bachelard, *Storia delle scienze e formazione dello spirito scientifico*. In: R. Canguilhem, *Introduzione alla storia delle scienze*. Jaka Book, Milano, pp. 317-319, 1973.
- [15] S. Moscovici, M. Newstone, *De la science au sens commun*. PUF, Paris, 1984.
- [16] J. Solomon, *European Journal of Science Education*, 1983, 5, 49-59.
- [17] J. P. Astolfi, *L'école pour apprendre*. ESF, Paris, 1992.
- [18] R. Duit, *Physics Education*, 1984, 19, 56-66.
- [19] R. Trumper, *International Journal of Science Education*, 1990, 12, 343-354.
- [20] J. Bliss, J. Ogborn, *European Journal of Science Education*, 1985, 7, 195-203.
- [21] G. Nicholls, J. Ogborn, *International Journal of Science Education*, 1993, 15, 73-81.
- [22] A. Sivade, M. Begel, D. Cros, G. Jourdan, *Res Academica*, 1993, 11, 73-88.

UNO SGUARDO
DALLA
CATTEDRA



La routine e il didattichese

Ormai è divenuta un'abitudine: ogni giorno prima di lasciare la scuola e spegnere il computer, mi attardo a dare una occhiatina ad Internet, a verificare qualche indirizzo interessante, magari incuriosito da qualche segnalazione che promette meraviglie.

Debbo confessare che questa operazione spesso mi ha deluso ma talvolta mi ha riservato informazioni complete e preziose.

Un suggerimento mi è stato offerto da un articolo scritto dall'amico Vincenzo Terreni sulla rivista NATURALMENTE: l'indirizzo in questione è <http://www.cede.it> e contiene in particolare, oltre ad altri dati, informazioni sul nuovo esame di stato.

Va in pensione quindi una sperimentazione durata ben trenta anni ma soprattutto va in pensione senza che se ne conoscano gli esiti; un lasso di tempo così ampio ci ha indotti a dimenticare che di norma si sperimenta per un tempo prestabilito e limitato per saggiare la funzionalità di una ipotesi di lavoro, con lo scopo di verificarne i risultati, per procedere in seguito ad eventuali aggiustamenti. Invece dopo trenta anni...eccoci qua a fare una seconda ipotesi senza avere verificato, se non indirettamente, la prima. Una sperimentazione nata sulla spinta del movimento giovanile che si è afflosciata su se stessa,

è implosa per stanchezza.

Tutto ciò fornisce una idea della spaventosa inerzia culturale e professionale da cui è afflitta la scuola italiana. Ogni attività, ogni iniziativa, ogni adempimento finisce affogato nella più trita routine, assegnando a questo termine il significato di "monotona ripetizione di atti o di atteggiamenti psicologici, connessa specificatamente a una professione" (M. Cortellazzo, P. Zolli - Dizionario etimologico della lingua italiana).

Questa tendenza agli atti ripetitivi è molto più di un fatto contingente, se Giacomo Leopardi già nel 1823 scriveva che "la vita degli spagnuoli e degli italiani si riduce ad una routine d'inazione".

Il fondamento di una attività così varia e per certi versi imprevedibile quale la didattica è da un lato il possesso di una adeguata professionalità e dall'altro una buona dose di creatività perché nell'insegnamento, anche se esistono alcune invarianti, le situazioni non si ripetono mai esattamente nello stesso modo; ma tutto ciò ha un significato opposto a quello di routine.

Una spia del malessere della scuola è costituita anche dal linguaggio: laddove dovrebbe imperare il culto per una comunicazione libera e creativa si è imposto il didattichese, filiazione mostruosa del

burocratese.

Il didattichese, che non è un linguaggio scientifico, prende in prestito i suoi termini dalla pedagogia, dall'epistemologia, dalla docimologia, dalle teorie sullo sviluppo cognitivo e serve a dare una patina di professionalità alle operazioni di routine, ma non è sostenuto da reali competenze, è spesso strumento di esibizione e serve a pavoneggiarsi e ad impressionare i colleghi più ingenui.

Se qualcuno ha occasione, all'interno dei corsi di aggiornamento di affrontare questioni inerenti la didattica, è bene che depuri il suo interloquire dai termini che ricorrono nel didattichese perché nel frattempo i colleghi hanno sviluppato degli anticorpi e, se provocati, sono soggetti a conati di rigetto.

I colleghi furbastrici viceversa non sono soggetti a un bel nulla ma denunciano il loro rifiuto per tutto ciò che sa di routine e di didattichese per giustificare il loro disinteresse.

In questo modo sono stati prodotti, nell'indifferenza generale, infiniti documenti, incomprensibili, infarciti di banalità pomposamente agghindate di parole.

In mezzo a questo mare di documenti inservibili rimangono nascosti ed irriconoscebili alcuni lavori eccellenti, senza nessuna possibilità di essere controllati, riconosciuti e valorizzati.

Il riconoscimento del valore dei progetti e della competenza degli individui passa attraverso un serio controllo ma a fronte di questa necessità in Italia nascerebbe subito un arduo problema: come organizzare la formazione dei controllori? Senza contare che i sindacati da sempre fedeli alla loro intima natura corporativa, comincerebbero ad invocare l'autogestione da parte degli interessati. Forse dal lontano 1969 in fatto di demagogia non è cambiato proprio nulla!

Ermanno Niccoli

Forum delle associazioni disciplinari della scuola

Per una progettazione integrata dei curricoli: dimensioni "trasversali" dell'educazione

1. Definizione, motivazione

Per "trasversalità" intendiamo la presenza nei curricoli delle diverse discipline di obiettivi e principi metodologici comuni, tali da assicurare un rinforzo reciproco tra i diversi apprendimenti e da garantire uno sviluppo complessivo dell'intelligenza (delle intelligenze?) attraverso le discipline.

Si tratta di superare un difetto radicato nella nostra istruzione, che è lo sviluppo separato degli insegnamenti disciplinari, tale che comporta spesso duplicazioni e sprechi di lavoro didattico, e non permette al discente di cogliere gli elementi comuni e di trasformare i saperi in cultura. D'altra parte l'esplosione

dei saperi e delle ambizioni educative preme continuamente per un sovraccarico dei curricoli, che rischiano di diventare sterminati e impraticabili; tale rischio si può evitare tra l'altro valorizzando a fondo gli elementi trasversali alle discipline.

Progettare i curricoli disciplinari attorno ad assi portanti comuni implica la priorità degli aspetti metodologici rispetto a quelli di contenuto delle discipline.

2. Dimensioni della "trasversalità"

Una progettazione interrelata dei curricoli richiede che si tenga conto di diverse prospettive educative:

- l'ambito cognitivo,
- la relazione tra i saperi e il loro uso sociale,
- i metodi di insegnamento/apprendimento,
- l'educazione ai valori.

Secondo ciascuna di queste prospettive si possono indicare alcuni requisiti che ogni progetto di curricolo disciplinare dovrebbe soddisfare per essere adeguato a un'impostazione comune.

2.1. L'ambito cognitivo

L'individuazione di obiettivi cognitivi essenziali e trasversali si può articolare diversamente ai livelli della scuola primaria e secondaria:

- al livello primario, si punta allo sviluppo di categorie cognitive di base, nel senso della capacità di usarle nei più diversi contesti;
- al livello secondario, oltre alla capacità di usare categorie di livello più complesso, si aggiunge l'esigenza della consapevolezza delle operazioni che si compiono, di una riflessione metacognitiva.

Al livello primario, si pone inoltre il problema della progressiva differenziazione degli ambiti disciplinari, a partire da un approccio iniziale globale; la soluzione di questo problema non può essere affidata ai soli esperti disciplinari, ma richiede il concorso di competenze metodologiche generali, e soprattutto la valorizzazione delle esperienze acquisite sul campo dalla scuola elementare.

a. Nella scuola primaria, alcune abilità cognitive generali da sviluppare potrebbero

essere:

- i concetti e le relazioni spaziali e temporali;
- alcune categorie logiche di base (principio di non contraddizione, logica delle classi, relazioni di ordine...);
- l'uso dei concetti di misura e di ordine di grandezza;
- la capacità di cogliere regolarità nei fenomeni;
- le categorie di ipotesi e causalità;
- la capacità di riferire ordinatamente, oralmente e per iscritto, eventi, osservazioni, esperienze;
- la capacità di progettare;
- ...

b. Nella scuola secondaria, ai precedenti si aggiungono alcuni obiettivi cognitivi trasversali di livello più alto, quali:

- la capacità di generalizzare, sintetizzare, astrarre;
- il controllo della testualità orale e scritta;
- la capacità di argomentare e dimostrare;
- il procedimento ipotetico-deduttivo;
- la distinzione fra dati e teorie, generalizzazioni, interpretazioni;
- la capacità di elaborare dati e selezionarli secondo criteri di pertinenza;
- la comprensione e l'usodi modelli;
- la consapevolezza della storicità di istituti, conoscenze, teorie;
- la consapevolezza della complessità del reale;
- ...

2.2. I saperi e la società

La consapevolezza della natura storica dei saperi e del loro uso sociale dovrebbe radicarsi nei curricoli delle diverse discipline e metterli in comunicazione. Ne indichiamo alcune dimensioni:

- l'idea che le discipline si costituiscono nel tempo, in risposta ad esigenze sociali, come tradizioni di studio che si istituzionalizzano, e non sono definite da ambiti del reale o da statuti metodologici oggettivamente dati;
- l'idea della responsabilità sociale nell'uso delle conoscenze;
- il rispetto per la pluralità delle culture.

Queste esigenze possono incarnarsi didatticamente in alcune tematiche tipicamente pluridisciplinari che coinvolgono insieme i saperi e i valori, quali quelle ecologiche, bioetiche, il rispetto e l'uso dei beni culturali ecc. I curricoli dovrebbero prevedere spazi aperti e flessibili per queste tematiche.

2.3. Aspetti metodologici

L'inveramento di obiettivi comuni come quelli indicati nella pratica didattica, la possibilità che siano percepiti dagli studenti, richiedono che nell'insegnamento delle diverse discipline siano messi in atto principi metodologici comuni. Alcuni di questi potrebbero essere:

- l'attenzione allo sviluppo delle abilità di studio;
- l'operatività (pratica e mentale) in ogni momento dell'attività scolastica (si impara facendo, non ascoltando);
- il recupero della manualità;
- la promozione dell'apprendimento cooperativo;
- il riconoscimento e la valorizzazione dei diversi stili di apprendimento;
- la promozione della creatività;
- il radicamento delle conoscenze astratte su elementi concreti di esperienza e/o dell'immaginario;
- la necessità di partire sempre da situazioni

problematiche, di porre domande aperte e "leggittime";

- il superamento degli enciclopedismi, col privilegiare le conoscenze procedurali su quelle dichiarative;
- l'impostazione modulare dei corsi;
- la consapevolezza epistemologica interna a ogni studio disciplinare (si tratta di porsi costantemente la domanda: che cosa stiamo facendo quando facciamo matematica, storia, chimica... ?);
- ...

2.4. L'educazione ai valori

L'educazione ai valori della convivenza civile è tra le grandi finalità della scuola. I valori non possono essere oggetto di "insegnamento", ma devono vivere nell'organizzazione e nella realtà quotidiana della scuola. La progettazione dei curricoli dovrebbe tenerne conto da due punti di vista:

a. Nella struttura stessa delle discipline c'è una dimensione valoriale da esplicitare, per esempio:

- gli studi di carattere scientifico dovrebbero promuovere la disponibilità alla verifica e revisione di ogni conoscenza, l'apertura al dubbio e alla critica, la stipulazione di criteri condivisi per la soluzione di controversie;
- gli studi storico-culturali dovrebbero promuovere l'apertura a riconoscere e rispettare la diversità delle esperienze e delle culture;
- gli studi sociali sono sempre intrisi di dimensioni valoriali, che vanno esplicitate e discusse;
- ovunque dovrebbe essere presente la consapevolezza del carattere umano, relativo e storico delle conquiste scientifiche, artistiche e culturali, contrastando la tendenza del senso comune a vedervi qualcosa di sublime, inaccessibile e al limite magico.

b. La sperimentazione diretta di valori di cooperazione, rispetto delle differenze, spirito critico dovrebbe essere inerente alle direzioni metodologiche sopra indicate.

3. Il radicamento nei curricoli

Una volta che principi come quelli esposti fossero accettati, come garantire che si radichino effettivamente nei curricoli?

La prospettiva dell'autonomia scolastica porta al superamento dei programmi ministeriali; essi si sono del resto dimostrati inefficaci a garantire il rispetto delle indicazioni metodologiche, e perfino di quelle di contenuti. Ai programmi sembra si debba sostituire l'indicazione di "traguardi formativi"; come nella pubblica amministrazione, questo comporta il passaggio dal tentativo di verificare il rispetto delle procedure (svolgimento del programma) a quello di verificare i risultati.

La formulazione di "traguardi formativi", a diversi livelli di scolarità e per diversi ambiti disciplinari, comporta da un lato l'indicazione di contenuti minimi irrinunciabili (possibilmente in forma modulare), dall'altro quella di abilità cognitive e operative, generali e specifiche ("saper fare").

Queste indicazioni possono essere efficaci e verificabili se si traducono nell'indicazione di prove, o tipi di prove, da superare. Potrebbe trattarsi di verifiche del sistema di valutazione nazionale, o di prove d'esame di carattere nazionale, o anche di prove disposte all'interno delle singole scuole, sulla base di modelli prescritti. L'importante è che gli obiettivi minimi del sistema formativo, trasversali e specifici, non restino semplici formulazioni e

auspici di ciò che dovrebbe essere, aperte alle interpretazioni più diverse.

Il problema di elaborare modelli di prove adatte è delicato ed esposto a diversi rischi:

- la definizione di traguardi retroagisce sull'insegnamento/apprendimento, e questo è del resto il suo scopo; ma è noto che questa retroazione ha spesso effetti indesiderabili: l'insegnamento e studio "per l'esame" o "per il test nazionale" è in genere di qualità scadente. Il problema è inventare tipi di prove che non si prestino a una preparazione meccanica e ripetitiva, che esigano una risposta intelligente e incorporino obiettivi cognitivi di livello alto, tra cui quelli trasversali;
- i traguardi formativi rappresentano un "minimo" richiesto dal sistema formativo nazionale, nella varietà di opzioni ed esperienze permesse ad ogni scuola; si tratta predisporre misure per evitare che questo minimo diventi nella pratica didattica l'obiettivo massimo.

4. Procedure per la riforma

Se le riflessioni qui proposte dovessero essere accolte nei lavori per la riforma dei cicli scolastici, questo comporterebbe i seguenti passi:

- un gruppo di lavoro interdisciplinare, articolato nei livelli primario e secondario, dovrebbe elaborare obiettivi generali e principi metodologici trasversali del tipo di quelli qui accennati;
- gruppi di esperti di didattica disciplinare dovrebbero lavorare alla definizione dei nuclei concettuali delle discipline e dei traguardi formativi articolando le indicazioni di contenuto e metodo in modo che incorporino gli obiettivi e i principi trasversali e sviluppandole nel curricolo verticale; elaborando modelli di prove per la verifica dei traguardi ai diversi livelli, con le avvertenze sopra esposte;
- i modelli di prove dovrebbero essere sottoposti a validazioni sistematiche.

a. Nella scuola primaria, alcune abilità cognitive generali da sviluppare potrebbero essere:

- i concetti e le relazioni spaziali e temporali;
- alcune categorie logiche di base (principio di non contraddizione, logica delle classi, relazioni di ordine...);
- l'uso dei concetti di misura e di ordine di grandezza;
- la capacità di cogliere regolarità nei fenomeni;
- le categorie di ipotesi e causalità;
- la capacità di riferire ordinatamente, oralmente e per iscritto, eventi, osservazioni, esperienze;
- la capacità di progettare;
- ...

b. Nella scuola secondaria, ai precedenti si aggiungono alcuni obiettivi cognitivi trasversali di livello più alto, quali:

- la capacità di generalizzare, sintetizzare, astrarre;
- il controllo della testualità orale e scritta;
- la capacità di argomentare e dimostrare;
- il procedimento ipotetico-deduttivo;
- la distinzione fra dati e teorie, generalizzazioni, interpretazioni;
- la capacità di elaborare dati e selezionarli secondo criteri di pertinenza;
- la comprensione e l'usodi modelli;
- la consapevolezza della storicità di istituti, conoscenze, teorie;
- la consapevolezza della complessità del reale;
- ...