

Immagini della scienza e competenze scientifiche

Carlo Fiorentini – segreteria nazionale del Cidi

Cosa sono le competenze?

*Saperi e competenze*¹ si propone di fare il punto della riflessione, del dibattito, delle proposte e delle sperimentazioni che sono state effettuate negli ultimi anni intorno agli aspetti scolastici fondamentali dal punto di vista culturale e didattico.

Viene innanzitutto precisato il confine della nozione di competenza che, in particolare durante gli anni dell'esperienza ministeriale berlingueriana, aveva assunto un ruolo centrale come parola emblematica del rinnovamento culturale scolastico. Per Cambi, si tratta di un concetto articolato, complesso, che perde di significato se viene ridotto soltanto ad alcuni suoi aspetti, pur importanti. Innanzitutto, senza un bagaglio strutturato di conoscenze (e strutturato significa articolato in aree disciplinari) non vi sono competenze. "Dal complesso lavoro sui saperi devono emergere due tipi di competenze: una <<di contenuto>> e una <<di forma>>". Mentre la prima è legata al possesso di conoscenze specifiche, la seconda "è più una *forma mentis* transdisciplinare, orientata in senso *scientifico e critico*". I saperi implicano inoltre sempre un <<saper fare>>, e ciò significa che i saperi scolastici non possono rimanere inerti, devono essere applicati; non vi è cioè competenza senza questi <<saper fare>>, che sono poi specifici dei vari ambiti culturali. Infine, un'altra dimensione fondamentale delle competenze è data dallo sviluppo di capacità riflessive e critiche sui saperi, perché non vi è "conoscenza vera se il conoscere non si applica anche alla conoscenza stessa... Metaconoscenza è possedere dispositivi di lettura trasversale sui saperi, quali la complessità e la narritività". Tutto ciò deve condurre da una parte "ad apprendere ad apprendere" e dall'altra a stimolare atteggiamenti personali verso la conoscenza, quali *il gusto del conoscere*.

In altre parole, la scuola delle competenze, così intesa nella loro complessità e organicità, implica una <<rivoluzione didattica>>, che indubbiamente è già in corso da molto tempo, grazie alle sperimentazioni condotte dalla parte più innovativa della scuola, ma che ha bisogno di essere generalizzata ed istituzionalizzata. Implica inoltre "una pedagogia molto più ricca e sofisticata rispetto a quella attuale² e una didattica scolastica radicalmente rinnovata³ rispetto al formalismo del passato e del presente (da quello disciplinare-espositivo-valutativo e da quello programmatico-verificatorio)". E' necessario conseguentemente un profondo rinnovamento didattico- relazionale che può essere sintetizzato in tre aspetti centrali, tra loro strettamente intrecciati: ricerca, costruttivismo e motivazione. "La ricerca produce motivazioni e, nel contempo, postula un approccio costruttivo ai saperi, che faccia tesoro, cioè, delle conoscenze pregresse e su quelle venga edificando il ricercare"⁴.

Ci proponiamo con questo nostro contributo di sviluppare, in riferimento all'insegnamento scientifico, queste importanti considerazioni sul complesso concetto di competenza che rappresentano indubbiamente una sintesi della più significativa riflessione epistemologica e pedagogica degli ultimi decenni.

Quali sono i risultati dell'insegnamento scientifico?

Durante i lavori del gruppo di scienze della commissione De Mauro⁵, nel gennaio 2003, discutendo animatamente, avanzammo, nella prima fase, proposte e riflessioni divergenti su quasi tutto, tranne che su 2 o 3 aspetti; uno di questi, su cui l'accordo fu unanime, fu la valutazione sullo stato dell'insegnamento scientifico usuale. Queste sono le considerazioni che vennero scritte nel documento finale del sottogruppo scientifico: "Si constata, tuttavia, sia nella popolazione adulta che tra i giovani, un sempre più diffuso *analfabetismo scientifico*, rinforzato da una profonda demotivazione all'approfondimento e alla partecipazione. Non si tratta solo di preoccupanti carenze logico-linguistiche, ma anche di un'evidente

¹ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004.

² "In breve, fare pedagogia, oggi, si caratterizza come una elaborazione teorica e pratica contrassegnata da connotati di problematicità, di radicalizzazione, di criticità aperta, capace di ripensare e ristrutturare *ab imis* il discorso articolato e sfuggente, plurale ma insieme unitario, che verte sull'educazione, i suoi fini, i suoi modelli, i suoi processi." F. Cambi, *La complessità come paradigma formativo*, in M. Callari Galli, F. Cambi, M. Ceruti, *Formare alla complessità*, Roma, Carocci, 2003, p.144.

³ F. Cambi (a cura di), *La progettazione curricolare nella scuola dell'autonomia*, Roma, Carocci, 2002.

⁴ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004, pp. 27, 32, 18.

⁵ Questo gruppo era costituito da circa venti esperti, in rappresentanza di tutte le associazioni di didattica delle scienze e di alcune associazioni professionali.

incapacità di orientamento culturale di base in ambito scientifico, che spesso degrada in atteggiamenti superficiali ed ingenui”.

Considerazioni analoghe erano state fatte, negli anni precedenti, da molti esperti, sulla base di ricerche sulle conoscenze scientifiche, che avevano evidenziato che molti studenti di 19-20 anni, dopo molti anni di insegnamento scientifico, continuano ad utilizzare soltanto le loro conoscenze di senso comune, e continuano a condividere su molti aspetti concezioni di tipo prescientifico⁶.

Come può essere spiegata questa drammatica situazione?

Noi pensiamo che la causa fondamentale vada ricercata nell'impostazione formalistica, specialistica dell'insegnamento scientifico prevalente in tutta la scolarità preuniversitaria⁷. E' un insegnamento deduttivistico, addestrativo, basato sulla bignamizzazione⁸, sempre più spinta man mano che si scende ai livelli scolari iniziali, dei manuali del primo anno di università. Da tempo immemorabile sono stati indicati i profondi limiti di questa impostazione, sia dal punto di vista pedagogico-psicologico-didattico che sul piano epistemologico-culturale.

La scienza come dogma

In riferimento agli aspetti culturali, è stata evidenziata da molti, e da moltissimo tempo, la visione dogmatica, banalizzante e riduzionistica presente in questo insegnamento: “Ogni generazione, quindi, esce dalla scuola con l'idea che la scienza sia un fatto certo, un tessuto di teorie assolute e invulnerabili, dietro alle quali c'è solo una preistoria di errori, e il cui futuro sarà dato forse soltanto da sempre migliori applicazioni. In sostanza, l'educazione manualistica della scienza distrugge l'idea che la scienza è una realtà storica, *inculca* l'immagine di una scienza dogmatica. Ed è così che la più antidogmatica tra le attività umane, vale a dire la ricerca scientifica, diventa il supporto del dogmatismo ideologico; la scienza è il frutto di discussioni ininterrotte, di polemiche e di controversie, di fantasie ardite e di critiche severe, e tuttavia quanti, attraverso l'immagine della scienza tratta dai loro manuali, desiderano, per esempio, imporre la loro ideologia, diranno (come dicono) che la loro ideologia è scientifica; intendendo con ciò che la loro ideologia è indiscutibile e incontrovertibilmente vera, proprio...come la scienza”⁹.

Watkins¹⁰ aveva osservato che il libro di Khun *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* conteneva nella scelta del linguaggio molti suggerimenti, alcuni espliciti, altri impliciti, di un significativo parallelismo tra la scienza e la teologia. Khun aveva infatti sottolineato il carattere essenzialmente dogmatico dell'insegnamento scientifico: “Si tratta di un'educazione rigida e limitata, forse più rigida e limitata di ogni altro tipo di educazione, fatta eccezione per la teologia ortodossa”¹¹. Kuhn, tuttavia, ne aveva anche indicato la sua funzionalità per la formazione scientifica necessaria per operare all'interno di una determinata tradizione: “Lo scopo di un manuale è fornire al lettore, nella forma più economica e facilmente accessibile, le proposizioni di ciò che la comunità scientifica contemporanea pensa di sapere e le principali applicazioni alle quali questa conoscenza può essere dedicata”¹².

Considerazioni sul ruolo nefasto dell'impostazione dogmatica dell'insegnamento scientifico sono state effettuate da molti altri epistemologi, storici della scienza e scienziati; ci limitiamo a ricordare, fra i molti, Schwab¹³, Holton¹⁴, e più recentemente le riflessioni di Reale¹⁵ e Bernardini durante i lavori della Commissione dei Saggi, istituita dal ministro Berlinguer nel 1997. Le considerazioni di Bernardini possono essere sintetizzate da queste sue parole: “L'insegnamento delle scienze della natura, così come è ancora oggi, non mostra alcuna parentela stretta con forme generali del pensiero razionale”¹⁶.

Questa impostazione è una conseguenza di scelte culturali ideologiche specifiche di tipo dogmatico o la conseguenza di una determinata concezione dell'insegnamento scientifico consistente nel considerarlo soltanto come l'enciclopedia sistematica delle conoscenze (fatti, esperimenti, legge, teorie) attualmente ritenute significative e vere? Ora, dovrebbe a tutti essere evidente che le motivazioni di questa impostazione

⁶ I risultati delle ricerche effettuate in Italia sono in consonanza con quelle effettuate nel contesto internazionale. Fra le pubblicazioni italiane sono particolarmente preziose le seguenti due: N. Gridellini Tomasini, G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991; G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, Firenze, La Nuova Italia, 1995.

⁷ A. Borsese, C. Fiorentini, *Università e formazione degli insegnanti: il problema della integrazione delle competenze*, in *Università e Scuola*, 1997, 1/R, pp. 37-42; E. Aquilini, *Gli insegnanti e le scienze*, in *Scuola e Didattica*, 2003, n. 6, pp. 19-22; P. Falsini, L. Barsantini, *Una riflessione sulle competenze degli insegnanti nella didattica delle discipline scientifiche*, in *Naturalmente*, 2003, n. 2, pp. 32-34.

⁸ A. Borsese, C. Fiorentini, E. Roletto, *Formule sulla leggibilità e comprensione del testo: considerazioni su una ricerca relativa ai manuali di scienze della scuola media*, in *Scuola e Città*, 1996, n. 12, pp. 524-527.

⁹ D. Antiseri, *Jenner e la ricerca sulle cause e gli effetti del vaiolo vaccino*, Brescia, La Scuola, 1981, p.27.

¹⁰ J. Watkins, *Contro la scienza normale*, in I. Lakatos, A. Musgrave, *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1976, p. 102.

¹¹ T. Khun, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1969, p. 199.

¹² T. Khun, *La tensione essenziale: tradizione e innovazione nella ricerca scientifica* in *La tensione essenziale*, Einaudi, 1985, p. 249.

¹³ J.J. Schwab, P. F. Brandwein, *L'insegnamento della scienza*, Roma, Armando, 1965, p. 75.

¹⁴ G. Holton, *Scienza, educazione e interesse pubblico*, Bologna, Il Mulino, 1995, p. 22-23.

¹⁵ G. Reale, in *Le conoscenze fondamentali per l'apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, p. 374.

¹⁶ G. Bernardini, *ibidem*, p. 252.

non stanno generalmente in motivazioni coscientemente dogmatiche, ma in una concezione aculturale e funzionalista del sapere scientifico, in una scelta delle comunità scientifiche di concepire il sapere scientifico in modo non umanistico, non come uno degli strumenti culturali necessari per la formazione alla cittadinanza, ma soltanto funzionale alla formazione e selezione dei futuri ricercatori. Ma l'assenza o la presenza di cultura scientifica nel cittadino medio non è senza implicazioni con la sua cultura generale e con la sua partecipazione responsabile alla vita delle società democratiche. Ciò è indicato in modo chiaro nel Libro Bianco della CEE del 1995¹⁷.

Il mito dell'insegnamento scientifico contenutisticamente aggiornato

La ricerca scientifica produce in modo sempre più accelerato nuove conoscenze e nuove teorie sempre più concettualmente raffinate e formalmente elaborate. Ed anche in Italia è molto diffusa la consuetudine di aggiornare i manuali e l'insegnamento con conoscenze dichiarative attinenti a queste conoscenze più recenti; si va dal big bang ai buchi neri, dalle manipolazioni genetiche a molte problematiche ambientali. In alcuni casi, le motivazioni sociali e culturali che guidano queste scelte non possono che essere condivise dal punto di vista teorico, ma ciò non è sufficiente per includere questi argomenti nel curriculum se i risultati formativi che si ottengono sono poi in contraddizione con quelle motivazioni. Scelte di questo tipo vengono effettuate spesso anche nella scuola di base.

Arons, in uno dei migliori libri di didattica della scienze pubblicati negli ultimi cinquant'anni, si chiede, riferendosi addirittura ai corsi universitari, quale significato formativo possano avere: 1) lezioni dove si parla di fisica delle alte energie con l'incomprensibile gergo fatto di quark, gluoni, stranezza, ecc., con studenti che non hanno ancora una comprensione adeguata di concetti, quali accelerazione, massa, forza, energia; 2) lezioni di astronomia dove si tratta di nucleosintesi stellare, pulsar, quasar e buchi neri con studenti che non sono in grado di spiegare perché crediamo che la Terra ed i pianeti ruotino intorno al sole; 3) lezioni su DNA, biologia molecolare e struttura dei geni con studenti che non sanno come le diverse sostanze vengono definite e riconosciute, che ad esempio non hanno alcuna idea di che cosa si intenda, dal punto di vista operativo, con le parole "ossigeno", "azoto", "carbonio".

Queste lezioni "sono inutili nel migliore dei casi, e nel peggiore dei casi dannose, dal momento che non c'è abbastanza tempo per affrontare le domande del tipo « Come facciamo a sapere....? Perché crediamo che....? Non è possibile che un flusso di parole incomprensibili possa creare una cultura scientifica; semplicemente esso aggrava il problema che stiamo tentando di risolvere".

Arons non nega, tuttavia, l'importanza educativa che possono avere alcune problematiche più connesse alla contemporaneità, ma a condizione che gli studenti ne comprendano i fondamenti scientifici che ne stanno alla base. "Se invece le questioni si affrontano *senza* un'adeguata comprensione della scienza che ne sta alla base, come purtroppo viene spesso fatto, l'iniziativa diventa speciosa. Gli studenti sono indotti nell'errore di pensare di aver compiuto un'indagine e di possedere una conoscenza dei problemi mentre, in effetti, si sono limitati ad usare dei termini tecnici di cui non comprendono il significato, e hanno avuto a che fare solo con generalizzazioni vuote, prive di sostanza e di un'autentica riflessione. In questi casi sono stati incoraggiati in maniera insidiosa ad abbracciare l'idea fin troppo diffusa, secondo cui «ogni opinione è valida quanto ogni altra». "Mi sembra che l'onestà intellettuale dovrebbe richiedere che gli studenti acquisiscano una certa comprensione genuina dei concetti, delle teorie, e delle scoperte scientifiche alla base del grande problema specifico che stiamo esaminando, e non devono essere incoraggiati a discorrere in maniera vuota di argomenti che essenzialmente non capiscono. Con studenti che già posseggono il retroterra concettuale necessario è possibile discutere subito di questi argomenti. Ma con studenti privi di idee su che cosa significhi «energia» (molti la considerano un qualche tipo di sostanza materiale) (...). Con studenti che non hanno alcuna base per credere al fatto che la struttura della materia sia discreta (conoscendo solo una successione di nomi, come «atomo», «molecola», «nucleo», «elettrone», presentati loro attraverso delle dichiarazioni senza alcuna esame di qualche prova sperimentale, di qualche ragionamento che servano a spiegare il significato dei nomi stessi) (...). Infine con studenti che sono ancora aristotelici nel loro uso di frasi teleologiche e nella loro ignoranza della legge d'inerzia; con studenti di questo tipo è intellettualmente specioso e disonesto condurre la discussione iniziale senza aiutarli prima a formarsi e a capire i concetti prioritari essenziali".

Qual è l'alternativa indicata da Arons? "E' indispensabile riprendere, rallentare, diminuire il numero di argomenti, e dare agli studenti la possibilità di seguire e interiorizzare lo sviluppo di un piccolo numero di idee scientifiche, presentate in quantità tale e con un ritmo tale da permettere una conoscenza di tipo operativo, e non solo dichiarativo ... Gli studenti devono avere il tempo di formarsi i concetti, di pensare, di ragionare, e di percepire i collegamenti. Devono discutere le idee, e devono scrivere qualcosa a riguardo".

¹⁷ Commissione dell'Unione Europea (a cura di), *Insegnare a apprendere verso la società conoscitiva*, in *Annali della Pubblica Istruzione*, 1995, n. 4, p. 309.

Arons utilizza una problematica scientifica presente in molti corsi anche di carattere elementare per evidenziare sia l'insignificanza formativa dell'utilizzo di gergo scientifico che le potenzialità presenti per rendere gli studenti consapevoli del ruolo della scienza nello sviluppo intellettuale.

Perché gli oggetti cadono? Spesso già nella scuola elementare viene fornita la risposta che gli oggetti cadono a causa della gravità. Si dà così l'impressione al bambino di avere ricevuto una spiegazione. "Sia da parte di colui che fornisce, sia da parte di colui che riceve non vi è alcun sentore dell'«informazione» secondo cui *il nome tecnico non contiene una conoscenza né una comprensione, ma nasconde semplicemente l'ignoranza circa la natura del fenomeno*". Se la stessa domanda viene fatta a studenti universitari è probabile che si abbia la stessa risposta. Poche persone conoscono la storia di questo nome: che, all'inizio, il termine gravità indicava un effetto teleologico, la tendenza, cioè, degli elementi pesanti (acqua, terra) ad andare verso il centro della Terra, e che vi era un termine "levità" che indicava la tendenza opposta ad andare verso l'alto degli elementi leggeri, aria e fuoco. Newton, rinunciando a qualsiasi spiegazione sulla causa della gravità, formulò la teoria che vi sia un'unica forza di attrazione tra i corpi, responsabile sia della caduta delle mele sulla Terra, come della rotazione dei pianeti intorno al Sole. Ed anche oggi, "nonostante l'eleganza e la bellezza della teoria della relatività generale, non abbiamo tutt'ora la minima idea di come «funzioni» la gravità".

In riferimento a queste problematiche scientifiche vi sono delle consapevolezza culturali sconosciute alla maggior parte degli studenti. Solo pochi studenti hanno un'idea della rivoluzione culturale verificatasi nel XVII secolo, quando si rinunciò all'idea che i corpi celesti fossero fatti di sostanze diverse da quelle della Terra e si accettò la concezione che tutto l'universo, che iniziò ad essere concepito come un tutto, fosse governato dalle stesse leggi naturali. "Il modo in cui ogni individuo guarda a se stesso e al suo posto nell'universo è profondamente condizionato dalla sua eredità proveniente da Galileo, Cartesio, Newton e altri filosofi naturali del diciassettesimo secolo. Una persona colta dovrebbe essere cosciente di questa eredità in termini concettuali, storici e culturali, e non solo nella semplice asserzione dei risultati finali. Qui vi è l'occasione di un altro passo significativo verso una maggiore cultura scientifica"¹⁸.

Le competenze scientifiche ed i manuali

L'impostazione usuale dell'insegnamento scientifico ha mostrato il suo fallimento anche dal punto di vista strettamente delle competenze disciplinari. A nostro parere, la situazione è molto più grave di quanto indicato da Cambi, e ciò dovrebbe, a maggior ragione, rendere possibile, perché necessario anche rispetto alla dimensione lineare dei saperi, quanto auspicato dal Cambi stesso: "Competenza non è solo trasferibilità delle conoscenze acquisite, ma implica anche il modo in cui le si possiede (conseguente a quello in cui le si è acquisite): se solo applicativo o cosciente dei fondamenti o capace di leggere anche le implicazioni parallele e fissarne gli effetti pubblici (= sociali). Competenza scientifica non è solo competenza tecnica (applicativa ed esecutiva)"¹⁹.

Condividiamo, ovviamente, questa idea complessa di competenza scientifica, e pensiamo che questa rappresenti realisticamente oggi la posta in gioco, perché pensiamo che anche la sola competenza tecnica non esista più nella maggioranza degli studenti alla fine della scuola secondaria superiore; questa competenza, con tutti i limiti della sua visione riduttiva, è esistita nel passato, comunque in una minoranza, quando essa contribuiva potentemente a selezionare la maggior parte degli studenti. Conseguentemente riteniamo che oggi vi siano le condizioni socio-culturali che effettivamente possano permettere un insegnamento scientifico problematico, critico, perché oggi è molto più evidente rispetto al passato che anche l'acquisizione stabile delle nozioni scientifiche fondamentali diventa possibile con un insegnamento radicalmente diverso da quello manualistico tradizionale. Oggi la critica principale che può essere rivolta a questa impostazione manualistica è che essa non è più neanche in grado di far raggiungere nozioni stabili disciplinari lineari alla maggioranza degli studenti. Vi sono oggi le condizioni per una critica più radicale dei manuali scientifici di quella fatta da Cambi, quando afferma "Ora, le «scienze normali» stanno sì nei manuali e nei loro esercizi, e i manuali hanno una dimensione convergente e lineare a caratterizzarli, in modo che il quadro sincronico dei saperi venga rispettato, anche se tale sincronizzazione è a sua volta un problema. Ma le competenze che da quei manuali vanno estratte e consolidate nei soggetti (gli allievi) possono essere curvate in molti sensi e possono ricevere varie «intonazioni» per così dire. Possono dogmatizzarsi o possono criticizzarsi a loro volta"²⁰. E, a nostro parere, invece, è soltanto questa critica più radicale che può permettere la realizzazione delle competenze nel significato complesso ed integrato indicato dallo stesso Cambi. Non pensiamo, quindi, che le competenze dei manuali scientifici usuali²¹, anche solo tecniche, possano essere curvate e utilizzate per realizzare competenze più generali.

¹⁸ A. B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli, pp 371, 372, 373, 374, 384,387, 380, 381.

¹⁹ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2000, p.80.

²⁰ Ibidem, p. 80.

²¹ "I veri programmi li fanno gli editori, che si basano su un modello di insegnante molto conservatore in vista delle adozioni e dei conseguenti profitti (basterebbe citare il caso dei manuali di 1000 e più pagine/anno, concepiti con l'idea che così gli insegnanti li

Di meno è di più

Una delle caratteristiche di questa impostazione è la quasi totale mancanza di un'idea di *curricolo verticale*²²; anche per molti esperti di didattica delle scienze, ad ogni livello scolastico, a partire dalla scuola elementare, si dovrebbe insegnare un po' di "tutto", ovviamente si aggiunge in un "modo adatto agli studenti di quel livello"; il "tutto" avendo a disposizione, in tutta la scuola di base e quando va bene, 2 ore alla settimana. In pratica non viene affrontato in modo significativo per lo studente nessun argomento, né dal punto di vista tecnico, specifico, né dal punto di vista problematico, critico. La regola sono la fretta, la superficialità, il nozionismo. Il risultato è la mancanza dello sviluppo di qualsiasi competenza, o ancora peggio dello sviluppo di una qualsiasi dimensione del concetto di competenza. Nel passaggio da un livello scolastico all'altro si riparte sempre da capo, non essendoci nessuna base significativa di competenze su cui costruire.

Per avere un insegnamento significativo sono necessari, invece, tempi lunghi - tempi adeguati - per ciascuna problematica affrontata²³; se viceversa i tempi impiegati sono più simili a quelli degli *spot* televisivi, o detto in altre parole, sono quelli di un insegnamento nozionistico, trasmissivo, libresco, dove è compito principale dello studente comprendere, leggendo e studiando a casa le pagine assegnate, come è immaginabile che resti nello studente qualche conoscenza e che si sviluppi contemporaneamente, seppur gradualmente, *il gusto del conoscere*?

Indubbiamente una delle caratteristiche dell'insegnamento scientifico dovrebbe essere quella di sviluppare nello studente una "forma mentis" logica, sistematica, rigorosa. Infatti una qualsiasi disciplina scientifica ha una sua organizzazione specifica, caratterizzata da relazioni precise fra i vari concetti, e da un lessico proprio; quando le parole che si usano sono anche utilizzate nella vita quotidiana, hanno in quel contesto disciplinare uno specifico significato che potrebbe non avere nulla in comune o addirittura essere in contraddizione con il significato quotidiano.

Lo studente può gradualmente sviluppare questa "forma mentis" soltanto se questi aspetti fondamentali della disciplina adulta li potrà gradualmente costruire durante tutto l'arco della scolarità preuniversitaria, se si troverà costantemente nella situazione di vivere situazioni problematiche - sul piano sperimentale e/o teorico e/o culturale e/o sociale - che lo porteranno a comprendere l'utilità o la necessità, o la possibilità di una nuova ipotesi, di un nuovo concetto, di una determinata generalizzazione, di una formula, di una teoria più generale. Se, viceversa, tutto ciò gli viene proposto nella modalità usuale dei manuali, in modo asettico, non contestuale, non problematico, già ripulito e rifinito, il risultato, nella mente dello studente, non è il rigore, la razionalità, la logica, ma la mancanza di comprensione, di *significato*, e quindi l'opposto di tutto ciò.

Bruner ci ricorda costantemente la fondamentale importanza del "fare significato", che "senza il conferimento di un significato non ci può essere linguaggio, né mito, né arte - e non ci può essere cultura... I significati permeano le nostre percezioni e i nostri processi di pensiero in un modo che non esiste in nessun'altra parte del regno animale... Per capire bene il 'significato' di qualcosa è indispensabile una certa consapevolezza dei diversi significati che possono essere attribuiti alla cosa stessa, indipendentemente dal fatto che si concordi o meno con esse"²⁴. Ed anche "le epistemologie attuali tendono ad assumere al centro una precisa connotazione interpretativa, anti-riduzionistica e disponibile ad un pluralismo metodologico, nutrita di coscienza storica e capace di cogliere, al di là della semantica e della sintassi, anche il 'senso' di ogni sapere"²⁵.

Per comprendere qualcosa in ambito scientifico non si può trattare i termini e i concetti scientifici come se fossero venuti alla luce nel modo in cui sono presentati usualmente nei manuali; sono "decontestualizzati, liberati di ogni ambiguità", ormai senza vita, *senza significati*. "Comprendere una cosa in un certo modo è 'giusto' o 'sbagliato' solo dalla particolare prospettiva da cui la si considera. Ma l'«esattezza» di una particolare interpretazione, pur dipendendo dalla prospettiva, implica anche il rispetto di regole quali quelle della dimostrazione, della concordanza e della coerenza. Non tutto è accettabile. Esistono dei criteri intrinseci di giustezza, e la possibilità di interpretazioni diverse non le autorizza tutte indiscriminatamente"²⁶.

trovano completi avendo un margine di scelta personale per le 100 pagine che effettivamente impiegheranno" (C. Bernardini, in *Le conoscenze fondamentali per l'apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, pp. 120.

²² C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo scientifico?*, in F. Cambi, *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola dell'autonomia*, Firenze, Le Monnier, 2000, pp. 275-290.

²³ E' molto interessante l'articolo di S. Tamburini *Cambiare la scuola in America*, pubblicato in *Sapere*, 1997, n. 5: viene presentato *Project 2061*, un progetto americano preparato per rinnovare radicalmente l'insegnamento scientifico-matematico-tecnologico. Tra le innumerevoli proposte avanzate, vi è un totale ridimensionamento degli aspetti formalizzati. In più punti si parla invece di *comprensione qualitativa*.

²⁴ J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano Feltrinelli, 1997, p. 179, 27.

²⁵ F. Cambi, *La complessità come paradigma formativo*, in op. cit. p. 142.

²⁶ J. Bruner, op. cit., p. 27.

Ogni problematica importante ha bisogno di tempi molto lunghi per essere appresa in modo significativo, per diventare competenza; ciò implica considerare le variabili tempo e quantità dei contenuti in modo responsabile e non demagogico. “Questo tipo di ragionamento a sua volta implica che l’obiettivo dell’istruzione non sia tanto l’ampiezza, quanto la profondità”. Considerazioni di questo tipo erano presenti anche nel documento conclusivo della Commissione dei Saggi ed erano rivolte all’insegnamento di tutte le discipline scolastiche²⁷. Programmi di alto livello non sono quei programmi che fanno qualche riferimento a tutti gli aspetti fondamentali dell’enciclopedia scientifica, ma quelli che, effettuando scelte precise, hanno una quantità di contenuti effettivamente compatibili con un insegnamento che ha bisogno di tempi lunghi²⁸. Questa esigenza è, a nostro parere imprescindibile sia nella scuola di base²⁹ che nella scuola secondaria superiore. “Il nemico della riflessione è il ritmo a rotta di collo – le mille immagini. In un certo senso profondo, possiamo dire dell’apprendimento, e in particolare dell’apprendimento di materie scientifiche, quello che diceva Mies van der Rohe a proposito dell’architettura, che ‘di meno è di più’³⁰”.

Se concentriamo la nostra attenzione sulla secondaria superiore non è da molto tempo più accettabile, se si vogliono sviluppare negli studenti competenze, che il programma (o meglio che i manuali) delle varie discipline scientifiche sia più o meno lo stesso a prescindere dalla collocazione di ciascuna disciplina nel piano di studi di ciascun indirizzo; è una situazione ben diversa avere a disposizione 2-3 alla settimana soltanto per un anno scolastico o per 3 o più anni. Evidentemente la quantità delle problematiche che possono essere affrontate dipende innanzitutto ed in modo determinante da questo aspetto.

Il che cosa insegnare?

Il caso della chimica, come esempio emblematico

Una volta risolto il problema fondamentale della quantità, si pone il nodo ugualmente molto problematico e controverso del che cosa scegliere. Vi sono indubbiamente principi di carattere generale, validi per tutte le discipline scientifiche che debbono guidare nella scelta, quali fra tutti l’accessibilità cognitiva e l’importanza culturale-disciplinare delle problematiche individuate.

Vi sono, a questo proposito, importanti indicazioni anche nel *Libro bianco* della CEE del 1995: “La profonda trasformazione in corso del contesto scientifico e tecnico richiede dunque che, nel suo rapporto con la conoscenza e l’azione, l’individuo sia in grado, anche se non mira ad una carriera di ricercatore, di assimilare in un certo modo i valori dell’attività di ricerca: osservazione sistematica, curiosità e creatività intellettuali, sperimentazione pratica, cultura della cooperazione ... In effetti la normalizzazione del sapere che permette di ottenere un diploma superiore è eccessiva. Essa induce a pensare che tutto debba essere insegnato in un ordine strettamente logico e che grazie alla padronanza di un sistema deduttivo, fondato su nozioni astratte, dove le matematiche svolgono un ruolo dominante, si può produrre e identificare la qualità. In alcuni casi, il sistema deduttivo può essere paralizzante ed uccidere l’immaginazione. Presentando le cose come totalmente costruite, fa dell’allievo un soggetto passivo e frena la tendenza alla sperimentazione”³¹.

Proposte ancora più pregnanti vennero formulate dalla Commissione dei Saggi sia per la scuola di base che per la secondaria superiore; ci limitiamo a riprendere quelle per la secondaria superiore: “A livello superiore si condivide l’esigenza di immettere negli insegnamenti delle scienze fisico-naturali una prospettiva critica di natura storico-epistemologica, che ne consenta l’integrazione nel sistema dei saperi sociali e permetta anche di accogliere la tecnologia come ambito e strumento di conoscenza, e come tramite con le attività di produzione di beni e servizi. Su un piano più generale, si dovrà operare al fine di mettere gli allievi nelle condizioni di far fronte all’incertezza, intesa come istanza epistemologica propria delle scienze

²⁷ “Elemento cruciale per l’apprendimento è dato dalla qualità delle esperienze che insegnanti e studenti realizzano in relazione alle aree di studio ... L’istruzione non può e non deve mirare ad essere enciclopedica. Sezioni diverse del sistema scolastico hanno livelli e scopi diversi, ma in ognuna di esse la regola dovrebbe essere l’insegnamento di alcune cose bene e a fondo, non molte cose male e superficialmente: si deve avere il coraggio di scegliere e di concentrarsi”. (R. Maragliano, *Sintesi dei lavori della Commissione tecnico-scientifica*, in *Le conoscenze fondamentali per l’apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, p. 78.

²⁸ L. Barsantini, *Sull’insegnamento della fisica*, in *Insegnare*, 2000, n. 5, pp. 42-45.

²⁹ Sono stati pubblicati negli ultimi anni due progetti curriculari per la scuola di base che hanno indubbiamente molti aspetti pedagogico-culturali in comune; differiscono radicalmente, tuttavia, sulla scelta delle problematiche, sull’idea che “sia possibile insegnare qualsiasi cosa a qualsiasi età” con le modalità opportune. Il primo progetto, legato a questa visione è stato pubblicato in questi due libri: F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *Il senso di fare scienze. Un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, Torino, Bollati Boringhieri, 1995; F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *I modi di fare scienze*, Torino, Bollati Boringhieri, 2000. Ed anche il secondo progetto è stato pubblicato in due libri: L. Barsantini, C. Fiorentini, *L’insegnamento scientifico verso un curricolo verticale. Volume primo. I fenomeni chimico-fisici*, L’Aquila, IRSAE Abruzzo, 2001; G. Cortellini, A. Mazzoni, *L’insegnamento delle scienze verso un curricolo verticale. Volume secondo. I fenomeni biologici*, L’Aquila, IRSAE Abruzzo, 2002.

³⁰ J. Bruner, op. cit., pp. 10, 142.

³¹ Commissione dell’Unione Europea (a cura di), *Insegnare e apprendere verso la società conoscitiva*, in *Annali della Pubblica Istruzione*, Il Mulino, Bologna, 1995, p. 311.

contemporanee, e come ambito entro il quale far esercitare le dimensioni di responsabilità della scelta e il coinvolgimento etico che essa comporta³².

Preferiamo, tuttavia, per maggiore chiarezza, entrare nel merito di una specifica disciplina, la chimica, per meglio evidenziare la portata culturale delle scelte che è necessario effettuare. La quasi totalità dei manuali di chimica hanno un'impostazione centrata sulle acquisizioni scientifiche del Novecento, ed in particolare sulla struttura atomica, i vari tipi di legame chimico, la struttura molecolare. Nei vari capitoli appaiono anche conoscenze (fatti, concetti, leggi) che risalgono a fasi precedenti della storia della chimica, ma in modo definitorio, nozionistico, asettico, e, comunque, come esemplificazione, illustrazione, in una logica deduttiva, dei concetti fondanti il sapere chimico attuale, quelli di tipo microscopico. Vi sono poi molte problematiche affrontate, nel modo appena indicato, in capitoli (o, pardon, unità didattiche o moduli di 10-15 pagine) che costituiscono nella organizzazione attuale del curricolo universitario branche specialistiche ampie e complesse (è sufficiente pensare alla termodinamica³³). Questi manuali sono caratterizzati da una logica totalmente deduttivistica, centrata sul microscopico.

La riflessione pedagogica ha, da molto tempo, evidenziato come sia psicologicamente assurdo un approccio deduttivistico come primo approccio ad una qualsiasi disciplina; è in questo senso emblematico il cammino fatto dalla didattica della geometria durante il Novecento, che ha portato ad indicare la necessità di una lunga fase di insegnamento basato sulla *geometria intuitiva ed operativa* prima di passare alla geometria deduttiva. E stiamo parlando di un sapere emblematico da millenni di un'organizzazione effettivamente deduttiva, dove è possibile con passaggi logici, con ragionamenti, ricavare nuove conoscenze, nuovi teoremi, sulla base delle conoscenze possedute.

Ma nel caso dell'organizzazione deduttivistica dei manuali di chimica siamo di fronte non solo ad assurdità di tipo psicologico-didattico, inerenti ad un'impostazione deduttiva come primo approccio ad un sapere, ma ad una "farsa" del deduttivismo. Infatti nel caso della chimica, quella strutturazione di tipo espositivo-esplicativo, per cui l'introduzione di conoscenze microscopiche permetterebbe di descrivere e contemporaneamente spiegare fenomeni e leggi macroscopiche, opera in funzione non di ragionamenti deduttivi simili a quelli della geometria, necessari logicamente, ma di connessioni e ragionamenti legati all'esplorazione sperimentale e teorica, di carattere chimico-fisico, della realtà, effettivamente comprensibili soltanto a chi ha ampie e solide conoscenze specialistiche, acquisibili nella formazione universitaria specifica. Senza questa solida competenza, siamo di fronte ad una congerie di nozioni, apparentemente ben organizzate deduttivamente, che non possono, tuttavia, che essere memorizzate nel modo più meccanico, ma a cui non corrisponde, per lo studente, nessun *significato*, nessuna competenza³⁴. O meglio (sarebbe da dire, tragicamente, peggio), il significato che viene attribuito anche da molti insegnanti che si rendono, in parte, conto delle assurdità che insegnano, è quello che queste nozioni servono per superare i test di ammissione ad alcuni corsi di laurea, come quello di medicina³⁵.

Il modello alternativo di insegnamento della chimica

L'alternativa a questo modello deduttivistico ha iniziato ad essere prospettata in Italia durante gli anni 60 da alcuni universitari illuminati ed è stata sempre più rifinita ed articolata negli anni successivi, arrivando ad essere sancita formalmente anche in un programma ministeriale, che, tuttavia, è rimasto confinato in poche scuole sperimentali, il programma del *Laboratorio di fisica e chimica* del *Progetto Brocca* del 1989.

Questo programma, che si riferiva ad alcuni bienni della scuola secondaria superiore, prevedeva un'impostazione dell'insegnamento della Chimica completamente basato sulla *Chimica classica*, cioè, sulle teorie e i concetti fondamentali della chimica, quali si erano sviluppati, durante il Settecento e l'Ottocento, prima delle rivoluzionarie scoperte sulla struttura dell'atomo. Il progetto Brocca prevedeva, per questi indirizzi tecnici, l'insegnamento della chimica del Novecento usuale nel triennio. Ma il progetto Brocca non entrò mai in ordinamento, e quando a metà degli anni novanta il Ministero della P. I. decise lo svecchiamento dei programmi dei bienni degli Istituti tecnici, utilizzò i programmi Brocca del biennio per tutte le discipline, tranne

³² R. Maragliano, *Sintesi dei lavori della Commissione tecnico-scientifica*, in *Le conoscenze fondamentali per l'apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, pp. 81-81.

³³ P. Mirone, *La termodinamica può essere insegnata agli adolescenti?* In *Nuova Secondaria*, 1994, n. 3, pp. 78-81.

³⁴ Fra gli innumerevoli articoli che hanno messo in evidenza o la difficoltà dell'insegnamento, nella scuola secondaria superiore, di determinate problematiche della chimica o i risultati dell'insegnamento chimico usuale ci limitiamo a ricordarne alcune: A. Roletto, B. Piacenza, *Il concetto di sostanza: una indagine sulle concezioni degli studenti universitari*, in *La chimica nella Scuola*, 1993, n. 5, pp. 11-15; B. Piacenza, E. Roletto, *Il concetto di densità: difficoltà di apprendimento*, in *Didattica delle Scienze e Informatica nella Scuola*, 199, n. 172, pp. 19-22; P. Mirone, *Per un più efficace insegnamento delle scienze*, in *Nuova Secondaria*, 1995, n. 5, pp. 21-24; L. Benedetti, P. Mirone, *Lacune concettuali negli studenti universitari di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1995, n. 2, pp. 43-47; P. Mirone, *Per una definizione operativa del concetto di reazione*, in *Nuova Secondaria*, 1996, n. 2, pp. 84-86; P. Mirone, *Considerazioni sul concetto di reazione chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1998, n. 2, pp. 49-51; P. Mirone, *Perché la chimica è difficile?* In *La Chimica nella Scuola*, 1999, n. 3, pp. 67-70; P. Mirone, E. Roletto, *Un'indagine sulle concezioni delle matricole di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1999, n. 4, pp. 116-121; P. Mirone, *Gli orbitali sono realmente necessari nell'insegnamento della chimica?* In *La Chimica nella Scuola*, 2003, n. 4, pp. 103-107; G. Del Re, *Nota sul concetto di legame chimico*, in *La Chimica nella Scuola*, 1996, n. 5, pp. 155-157; R. Gillespie, *Legame senza orbitali*, in *La Chimica nella Scuola*, 1997, n. 1, pp. 2-5.

³⁵ G. Bini, A. Borsese, *Alcune considerazioni sui test per l'ammissione all'Università in Italia*, *Scuola e Città*, 1995, n. 9, pp. 384-389.

Chimica e Fisica. Fu proposto per queste due materie un programma enciclopedico-nozionistico usuale, con la motivazione che il programma del *Laboratorio di fisica e chimica* non poteva essere assunto, non essendo presenti queste due discipline nel triennio, come invece era previsto dal progetto Brocca.

Evidentemente per il Ministero tutte le motivazioni culturali, pedagogiche e didattiche che stavano alla base (ed erano chiaramente enunciate) del programma del *Laboratorio di fisica e chimica* erano “chiacchiere” inconsistenti; ciò che doveva, comunque, essere preservato era il canone tradizionale, accademico, dell'insegnamento della chimica e della fisica.

Il programma del *Laboratorio di fisica e chimica* rimane indubbiamente il documento ufficiale più importante³⁶, in relazione all'insegnamento di discipline scientifiche degli ultimi cinquant'anni, perché, in particolare in riferimento alla Chimica, contiene queste fondamentali scelte di tipo culturale, fondate su motivazioni pedagogico-psicologico-didattiche: l'insegnamento della chimica, nella scuola secondaria superiore, deve basarsi sull'osservazione-sperimentazione di trasformazioni chimiche, sulle leggi macroscopiche e sui modelli microscopici a loro strettamente connessi. Nelle finalità di questo programma trovano queste indicazioni: “Prima di giungere ad una sistemazione complessiva è però opportuno che lo studente prenda contatto concretamente con i problemi e i temi tipici delle discipline, ad evitare il pericolo sempre presente che una trattazione teorica perda, nella mente degli studenti, il contatto con il mondo reale che quella teoria cerca di interpretare. A livello del biennio, quindi, è indispensabile che l'insegnamento di alcuni temi portanti delle due discipline sia condotto in modo strettamente sperimentale ... Nei contenuti indicati non è da ricercarsi la logica convenzionale delle due discipline, Chimica e Fisica. I principali criteri che hanno ispirato la scelta dei contenuti sono i seguenti: partire dall'osservazione macroscopica dei corpi, sostanze e fenomeni del mondo che ci circonda per giungere in modo graduale all'aspetto particellare senza entrare nel merito del modello elettronico della struttura atomica”³⁷.

Questo programma è esente da limiti? Non ci sono critiche da rivolgergli? Ci fu chi, subito, si scandalizzò, denunciando un approccio ingenuamente induttivistico. Anche noi pensiamo che questa critica aveva qualche fondamento, ma chi la faceva riproponeva sostanzialmente l'approccio tradizionale deduttivistico, sistematico, addestrativo. Il ribadire con enfasi l'importanza di un'impostazione operativa, laboratoriale³⁸ rappresentava (come rappresenta ancora oggi) un aspetto fondamentale dell'insegnamento scientifico anche nella scuola secondaria superiore. Tuttavia il programma dava poche indicazioni metodologiche ulteriori, e poteva essere interpretato in una prospettiva totalmente induttiva, cadendo così in un atteggiamento banalmente induttivistico, sia dal punto di vista epistemologico che pedagogico-didattico. Ma esso poteva (ed oggi, a maggior ragione) essere anche interpretato in una prospettiva completamente diversa, molto più attenta alle modalità complesse con cui si sviluppa la conoscenza scientifica. L'epistemologia contemporanea, - da Koyrè a Bachelard, da Popper a Kuhn e Feyerabend - e la storia della scienza del Novecento - da Elkana a Jammer, dalla Metzger ad Holton, da Gillespie a Rocke - ci hanno, infatti, fatto,

comprendere anche l'inconsistenza di una concezione empirista della scienza: che “fare scienza è un cammino variegato e accidentato, dove l'intuizione, l'analogia, la stessa immaginazione conta e conta molto”; ci hanno proposto “una nuova immagine della scienza: più complessa e complicata, non lineare, più storicizzata, più autenticamente critica, in quanto capace di leggere senza paraocchi la complessità e la varietà del suo procedere”; e “che gli scienziati usano ogni sorta di ausili, intuizioni, storie e metafore per cercare di far sì che il loro modello speculativo si adatti alla “natura. Useranno tutte le metafore, tutte le figure, favole o fole che possono capitare sulla loro strada”³⁹.

Rispetto alle modalità prevalenti sistematico-deduttivo-addestrative dell'insegnamento scientifico, il ribadimento della centralità del laboratorio e più in generale di impostazioni operative costituisce una risposta importante, rappresenta una condizione necessaria per il rinnovamento dell'insegnamento scientifico, ma tutt'altro che sufficiente; anzi noi pensiamo che questa risposta, che è mossa da esigenze genuine in contrapposizione ad un insegnamento nozionistico, vuoto di significati, sia destinata, di per sé, alla sconfitta, perché un'impostazione radicalmente induttiva nella scuola superiore non è in grado minimamente di risolvere il problema dell'insegnamento di leggi e teorie scientifiche in un modo significativo, come è più volte avvenuto durante il Novecento, ogni qual volta tentativi di questo tipo sono stati realizzati. E' emblematico in questo senso il progetto Nuffield per la chimica, che si proponeva di insegnare i concetti e le teorie della chimica classica con un'impostazione induttiva: era costituito da un libro per l'insegnante e da

³⁶ P. Violino, *Alcune considerazioni sul Laboratorio di fisica e di Chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1994, n. 5, pp. 132-136; F. Olmi, *Ripensare i fondamenti dell'insegnamento della chimica al biennio*, in *La Chimica nella Scuola*, 1997, n. 1, pp. 9-13.

³⁷ *Piani di studio della scuola secondaria superiore e programmi dei primi due anni. Le proposte della Commissione Brocca*, Firenze, Le Monnier, p. 281, 1991.

³⁸ Nelle finalità del programma vi erano queste considerazioni: “Il termine laboratorio sta ad indicare il carattere operativo di questo insegnamento. Naturalmente ci si riferisce ad una operatività sia mentale che concreta: gli studenti vengono educati ad operare al fine di trasformare la realtà indagata in rappresentazioni mentali (conoscenze, concetti, intuizioni) e ad utilizzare le rappresentazioni mentali acquisite per ulteriori indagini nella realtà concreta”, *ibidem*, p. 281.

³⁹ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004, p.77-78. J. Bruner, *Op. cit.*, p. 138. (Bruner ricorda come N. Bhor confessò di essere arrivato all'idea di complementarità in fisica, a partire da un dilemma morale che riguardava suo figlio).

un insieme di schede per attività di laboratorio, per gli studenti. Era una proposta molto innovativa, che era stata progettata in Inghilterra durante gli anni sessanta, e che era arrivata 20 anni prima del progetto Brocca alle stesse conclusioni culturali rispetto a quale chimica dovesse essere insegnata come prima chimica; venne tradotta dalla Zanichelli all'inizio degli anni settanta⁴⁰, ma sostanzialmente non fu mai utilizzato in modo stabile da nessun insegnante. Per quali motivi?

Noi pensiamo che il motivo fondamentale, per cui non fu adottato stabilmente da quasi nessuno, fu l'impostazione totalmente induttivistica, la totale mancanza di sistematicità, il ridurre l'insegnamento della chimica all'esecuzione di molti esperimenti che non si riusciva a riportare a comportamenti generali, a leggi, a teorie, a connettere, cioè, in un sistema.

Nella scuola secondaria superiore, quando si affronta una qualsiasi disciplina scientifica, vi sono due aspetti fondamentali, apparentemente contraddittori, che, se non vengono affrontati contemporaneamente, si vanifica qualsiasi tentativo di rendere l'insegnamento scientifico significativo: vi è la necessità di un insegnamento, da una parte, centrato sul "fare significato" – e quindi situato, contestuale, problematico, riflessivo, metacognitivo – e dall'altra che porti gradualmente alla costruzione di un sistema teorico, ad un'organizzazione che dia ordine, e che indichi regolarità tra le varie conoscenze specifiche.

Nell'insegnamento scientifico, le molteplici dimensioni del concetto di competenza si tengono l'una con l'altra: le competenze più strettamente disciplinari, lineari, sistematiche si possono sviluppare, nello studente della scuola di tutti, se innanzitutto viene messo al centro dell'insegnamento la motivazione dello studente, e quindi quelle scelte didattiche e culturali che possono costantemente mantenere vivo l'interesse e la partecipazione degli studenti: didattiche costruttiviste, lo spirito di ricerca, il confronto tra pari, l'accessibilità cognitiva delle problematiche su cui si lavora, lo sviluppo di competenze metacognitive, "l'imparare ad imparare" sono le condizioni irrinunciabili dello sviluppo delle competenze scientifiche, contemporaneamente ed in modo non separabile, nella realtà scolastica attuale, sia nella dimensione disciplinare sistematica che in quella critica e riflessiva.

Le proposte culturali sostanziali del progetto Nuffield e del programma del *Laboratorio di fisica e chimica* possono essere a nostro parere realizzate, superando quindi prospettive angustamente induttivistiche, integrando la dimensione didattica disciplinare in esse contenute con alcune acquisizioni epistemologiche e psicopedagogiche evidenziate, nei loro risvolti educativi soprattutto negli ultimi venti anni, in particolare grazie al contributo di Bruner.

L'importanza dell'intersoggettività

La tesi centrale della *cultura dell'Educazione* è che la cultura plasmi la mente, che fornisca gli attrezzi per mezzo dei quali "costruiamo non solo il nostro mondo, ma la nostra concezione di noi stessi e delle nostre capacità (...) Invece di vedere la cultura come qualcosa che viene 'aggiunto' alla mente o che in qualche modo interferisce con i processi elementari della mente, è meglio pensare che sia *nella* mente...E' un approccio radicalmente diverso da quello riduzionistico delle 'aggiunte', che ha caratterizzato lo sviluppo della psicologia"⁴¹.

Strettamente connessa a questa tesi vi è un altro principio, secondo il quale l'attività umana "non sia solitaria né avvenga senza aiuto, anche quando ha luogo "dentro la testa". Bruner afferma di aver avuto trenta anni prima un approccio in parte diverso, "troppo interessato ai solitari processi intrapsichici del conoscere e al modo in cui potevano essere coadiuvati mediante interventi pedagogici adeguati"⁴². Bruner, da molto tempo, d'altra parte aveva preso le distanze da Piaget, le cui opere fondamentali facevano pensare ad un bambino che "arrivasse a conoscere il mondo attraverso un contatto pratico, diretto, invece che, come normalmente succede, da altri. Infatti impariamo molto di quello che "conosciamo" anche del mondo *fisico* ascoltando le credenze degli altri in proposito, e non curiosando direttamente"⁴³. Bruner ricorda, inoltre, a distanza di molti anni gli incontri fecondi che ebbe con Alexander Luria che gli fece capire meglio, con le sue argomentazioni illuminanti, il ruolo che svolgono, secondo la teoria di Vygotskij, il linguaggio e la cultura nel funzionamento della mente; essi contribuiscono così a far vacillare la sua "fede nelle teorie più autonome e più formalistiche del grande Piaget, teorie che lasciavano pochissimo spazio al ruolo qualificante della cultura nello sviluppo mentale"⁴⁴.

"La tradizione pedagogica occidentale rende poca giustizia all'importanza dell'intersoggettività nella trasmissione della cultura. Anzi, spesso non sa rinunciare alla preferenza per la chiarezza, al punto quasi da ignorare, almeno in apparenza, l'intersoggettività. Così il modello dell'insegnamento diventa quello del singolo docente, presumibilmente onnisciente, che racconta e mostra in maniera esplicita ad allievi presumibilmente ignari di qualcosa di cui presumibilmente non sanno niente (...) Sono convinto che uno dei

⁴⁰ *Nuffield Chimica, Livello I*, Bologna, Zanichelli, 1973; *Nuffield Chimica, Livello II*, Bologna, Zanichelli, 1974.

⁴¹ J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano, Feltrinelli, 1997, pp. 8, 185.

⁴² *Ibidem*, p. 9.

⁴³ *Ibidem*, p. 192.

⁴⁴ *Ibidem*, p. 11.

più grandi regali che una psicologia culturale possa fare all'educazione sia la riformulazione di questa concezione ormai svuotata di significato⁴⁵ (...). Questo comporta la costruzione di culture scolastiche che operino come comunità interattive, impegnate a risolvere i problemi in collaborazione con quanti contribuiscono al processo educativo. Questi gruppi non rappresentano solo un luogo di istruzione, ma anche un centro di costruzione dell'identità personale e di collaborazione. Dobbiamo far sì che le scuole diventino un luogo dove viene praticata (e non semplicemente proclamata) la reciprocità culturale, il che comporta una maggiore consapevolezza da parte dei bambini di quello che fanno, come lo fanno e perché... E siccome all'interno di queste culture scolastiche improntate al reciproco apprendimento si produce spontaneamente una divisione del lavoro, l'equilibrio tra l'esigenza di coltivare i talenti innati e quella di offrire a tutti l'opportunità di progredire viene espressa dal gruppo in una forma più umanistica: "da ciascuno secondo le sue capacità"⁴⁶.

Nel Progetto *Nuffield* e nel programma del *Laboratorio di fisica e chimica* non era indubbiamente più presente il modello dell'insegnante *onnisciente*, ma erano ambedue ancora totalmente permeati dalla visione pedagogica piagetiana che si arrivasse a *conoscere il mondo attraverso un contatto pratico, diretto*; non attribuivano, invece, nessuna importanza al tema dell'intersoggettività e della narrazione, ma allora questo modello pedagogico-didattico non era ancora sufficientemente conosciuto⁴⁷. Tuttavia l'assunzione di questo ultimo modello non può avvenire in contrapposizione agli aspetti duraturi di quello precedente; rimane, infatti, a nostro parere, un'indicazione pedagogica fondamentale, anche per la ristrutturazione educativa delle discipline scientifiche, l'idea piagetiana, che "il conseguimento della conoscenza è il risultato dell'attività propria del soggetto", dove per soggetto attivo si intende "un soggetto che confronta, esclude, ordina, categorizza, riformula, verifica, elabora ipotesi, riorganizza, ecc., attraverso l'azione interiorizzata (il pensiero) o l'azione reale (a seconda del suo livello di sviluppo)"⁴⁸. Nei confronti di Piaget vi è, in ambito pedagogico e didattico, da molto tempo un atteggiamento di critica radicale: Piaget avrebbe infatti sottovalutato molteplici aspetti, quali, ad esempio il ruolo della dimensione sociale, del linguaggio e della sfera affettiva nel processo educativo. Condividiamo queste critiche, ma non condividiamo l'utilizzo di queste critiche per la liquidazione anche degli aspetti duraturi del pensiero di Piaget. Noi pensiamo, in altre parole, che il superamento di un'impostazione piagetiana dell'insegnamento scientifico non debba comportare l'abbandono di alcuni aspetti fondamentali del contributo di Piaget, in particolare per l'insegnamento delle scienze e della matematica, e che questi aspetti vadano integrati in una visione pedagogica più complessa.

La centralità della narrazione anche nell'insegnamento scientifico

"Non intendo sottovalutare l'importanza del pensiero logico-scientifico... Ma non è un mistero che a molti giovani che oggi frequentano la scuola la scienza appaia "disumana", "fredda" e "noiosa", malgrado gli eccezionali sforzi degli insegnanti di scienze e di matematica e delle loro associazioni. L'immagine della scienza come impresa umana e culturale migliorerebbe molto se la si concepisse anche come una storia degli esseri umani che superano le idee ricevute – Lavoisier che supera il dogma del flogisto, Darwin che rivoluziona il rispettabile creazionismo, o Freud che osa gettare uno sguardo al di sotto della superficie soddisfatta del nostro autocompiacimento. Può darsi che abbiamo sbagliato staccando la scienza dalla narrazione della cultura. Una sintesi è forse necessaria. Un sistema educativo deve aiutare chi cresce in una cultura a trovare un'identità al suo interno. Se quest'identità manca, l'individuo incespica nell'inseguimento di un significato. Solo *la narrazione consente di costruirsi un'identità e di trovare un posto nella propria cultura*. Le scuole devono coltivare la capacità narrativa, svilupparla, smettere di darla per scontata"⁴⁹.

E' quindi necessario comprendere che cosa Bruner intende quando attribuisce alla narrazione questo ruolo centrale anche nel rinnovamento dell'insegnamento scientifico: "Partirò da alcune affermazioni ovvie. Una narrazione comporta una sequenza di eventi, ed è dalla sequenza che dipende il significato"⁵⁰. La narrazione è giustificata quando narra qualcosa di inatteso, di imprevisto, di apparentemente assurdo o contraddittorio. L'obiettivo della narrazione è di chiarire i dubbi, di spiegare lo "squilibrio" che ha portato all'esigenza di narrare la storia. La narrazione è, inoltre, strettamente connessa con l'interpretazione e non con la spiegazione. La comprensione, a differenza della spiegazione, comprende sempre più interpretazioni; "né l'interpretazione di una particolare narrazione esclude altre interpretazioni...la regola è la polisemia"⁵¹.

A questo punto potrebbe sorgere il dubbio su che cosa abbia a che fare con la scienza la narrazione, se, come lo stesso Bruner evidenzia, la scienza è essenzialmente caratterizzata dalla dimensione esplicativa, e

⁴⁵ Ibidem, p. 34.

⁴⁶ Ibidem, p. 95.

⁴⁷ Queste proposte pedagogiche iniziarono ad essere ampiamente conosciute in Italia soltanto alla fine degli anni ottanta; un libro che contribuì a far conoscere alcuni aspetti, quelli maggiormente di ispirazione vygotskijana, fu: C. Pontecorvo, A. M. Ajello, C. Zuccheromaglio, *Discutendo si impara*, Firenze, La Nuova Italia, 1991,

⁴⁸ E. Ferreiro, A Teberosky, *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Firenze, Giunti, 1985, p 25-26.

⁴⁹ J. Bruner, op. cit., p. 53.

⁵⁰ Ibidem, p. 135.

⁵¹ Ibidem, p. 103.

rappresenta uno dei due modi principali, alternativo proprio al modo narrativo, in cui gli uomini rappresentano il mondo: “Queste due forme di pensiero sono convenzionalmente note come pensiero *logico-scientifico* e pensiero *narrativo*”⁵².

Indubbiamente, secondo Bruner, i due modi di conoscere la realtà sono irriducibilmente diversi, ma sono, tuttavia, complementari: “ Come ho più volte ripetuto, l’adozione di un’ottica interpretativa non implica una posizione antiempirica, anti-sperimentale o addirittura antiquantitativa. Significa semplicemente che, prima di poterci accingere alla spiegazione, dobbiamo dare un senso a quanto ci viene detto”⁵³. ... “Per arrivare direttamente al dunque, la mia idea è che noi trasferiamo sempre i nostri tentativi di comprensione scientifica in forma narrativa, o, per così dire, di ‘euristica narrativa’. Il ‘noi’ comprende sia gli scienziati sia gli allievi che occupano le aule nelle quali insegnamo. Trasporremo dunque in forma narrativa gli eventi che stiamo studiando, allo scopo di evidenziare meglio cosa c’è di canonico e di previsto nel nostro modo di considerarli, in modo da poter distinguere più facilmente che cosa è ambiguo e incoerente e quindi deve essere spiegato ... Proverò ora a esprimere queste stesse idee con un linguaggio in parte diverso. Il processo del fare scienza è narrativo. Consiste nel produrre ipotesi sulla natura, nel verificarle, correggerle e rimettere ordine nelle idee. Nel corso della produzione di ipotesi verificabili giochiamo con le idee, cerchiamo di creare anomalie, cerchiamo di trovare belle formulazioni da applicare alle contrarietà più intrattabili in modo da poterle trasformare in problemi solubili, inventiamo trucchi per aggirare le situazioni intricate. La storia della scienza, come Bryant Conant ha cercato di dimostrare, può essere raccontata in forma drammatica, come una serie di vicende quasi eroiche di soluzione di problemi. I suoi critici amavano sottolineare che le storie dei casi che lui e i suoi colleghi avevano preparato, pur essendo molto interessanti non erano però scienza, ma storia della scienza. Non sto proponendo di sostituire alla scienza la storia della scienza. Sostengo invece che la nostra istruzione scientifica dovrebbe tener conto in ogni sua parte dei processi vivi del fare scienza, e non limitarsi a essere un resoconto della ‘scienza finita’ quale viene presentata nel libro di testo, nel manuale e nel comune e spesso noioso ‘esperimento di dimostrazione’⁵⁴.

Noi pensiamo che queste indicazioni di Bruner permettano di colmare le gravi lacune presenti nei progetti, comunque molto innovativi per quegli anni, Nuffield ed il Laboratorio del Progetto Brocca. Compenetrando le insuperabili indicazioni culturali-metodologiche di quei progetti con il contributo pedagogico dell’intersoggettività e della narrazione⁵⁵, noi pensiamo che sia effettivamente possibile sviluppare competenze scientifiche negli studenti. Vogliamo prendere in considerazione, come esempio, una problematica importante della chimica, la legge di Proust, come potremmo scegliere, come esempi, la formazione del concetto di gas⁵⁶, le leggi di Lavoisier⁵⁷, le leggi di Dalton⁵⁸, la legge di Gay Lussac⁵⁹, la creazione delle formule chimiche (del linguaggio della chimica)⁶⁰, ecc. La legge di Proust costituisce una delle leggi fondamentali della chimica che generalmente non viene compresa dagli studenti (così come le altre leggi indicate sopra), perché non ne viene evidenziata la problematicità⁶¹; da un punto di vista strettamente nozionistico è ormai una legge “stupida”: infatti, se partiamo nell’insegnamento dai modelli atomico-molecolari, che significato ha affermare l’ovvietà che le sostanze hanno composizione costante? E, se, invece adottiamo un approccio banalmente induttivo⁶², facendo eseguire uno o due esperimenti che evidenziano in questi casi la costanza delle proporzioni, che cosa di significativo si ricava per la comprensione della legge?

Per coinvolgere gli studenti e fare loro comprendere la legge di Proust (come le altre leggi o un qualsiasi concetto fondamentale della chimica) occorre trasporre “in forma narrativa gli eventi che stiamo studiando, allo scopo di evidenziare meglio cosa c’è di canonico e di previsto nel nostro modo di considerarli, in modo da poter distinguere più facilmente che cosa è ambiguo e incoerente e quindi deve essere spiegato..... Il processo del fare scienza è narrativo. Consiste nel produrre ipotesi sulla natura, nel verificarle, correggerle e rimettere ordine nelle idee”. Occorre far partecipare gli studenti, nelle modalità possibili nei vari casi, al gioco

⁵² Ibidem, p. 53.

⁵³ Ibidem, p. 126.

⁵⁴ Ibidem, p.138, 140.

⁵⁵ G. Bagni, *Il bisogno di senso dell’insegnamento scientifico*, in R. Conserva (a cura di), *Il nuovo esame di stato*, Bologna, Zanichelli, 2000.

⁵⁶ E. Aquilini, *Il ruolo del concetto di gas nella costruzione delle basi della chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 149-152.

⁵⁷ C. Fiorentini, E. Roletto, *Ipotesi per il curricolo di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 158-168; A. Testoni, D. Colombi, *Quale teoria per gli acidi? La teoria dell’acidità di Lavoisier*, in *Atti del XII Congresso della Divisione Didattica della Società Chimica Italiana*, Trieste, 2001, pp. 139-149.

⁵⁸ T. Khun, *La funzione della misura nella scienza fisica moderna*, in *La tensione essenziale*, Torino, Einaudi, 1985, pp. 212, 214.

⁵⁹ C. Fiorentini, *La legge dei volumi di Gay Lussac: una legge evidente?*, in CIDI di Firenze, *Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, Firenze, Marietti-Manzuoli, 1986, pp. 231-247.

⁶⁰ C. Fiorentini, V. Parrini, *Dalla legge delle proporzioni multiple alle formule chimiche: l’origine dei simboli chimici, delle formule, dei pesi atomici*, in *Didattica delle scienze*, 1987, n. 129, pp. 35-42.

⁶¹ E. Torracca, *Una dimensione storica dell’insegnamento della chimica?*, in *Epsilon*, 1994, n. 2, pp. 17-22; P. Riani, *L’insegnamento della chimica*, in *Didattica delle Scienze e Informatica nella scuola*, 1996, n. 182, pp. 22-26; L. Orlando, *Ma nelle scuole parliamo di storia*, in *Sapere*, 1997, n. 5, pp. 30-36.

⁶² M. Mancini, E. Torracca, *Che tipo di esperimenti ci sono nei libri di testo di chimica?*, in *La Chimica nella Scuola*, 2001, n. 4, pp. 121-127.

della scienza: “nel corso della produzione di ipotesi verificabili giochiamo con le idee, cerchiamo di creare anomalie, cerchiamo di trovare belle formulazioni da applicare alle contrarietà più intrattabili in modo da poterle trasformare in problemi solubili, inventiamo trucchi per aggirare le situazioni intricate”. Occorre fare in modo che ciò che è apparentemente ovvio diventi un problema⁶³, una rottura epistemologica; occorre rendere, come dice Bruner del linguaggio letterario, “nuovamente estraneo ciò che è troppo familiare”... Siccome la connessione canonica fra le realtà, in una storia, rischia di generare noia, la narrativa, attraverso il linguaggio e l’invenzione letteraria, cerca di tener vivo l’interesse del suo pubblico “rendendo nuovamente strano l’ordinario”⁶⁴. Occorre ridare centralità alle ipotesi scientifiche⁶⁵, bisogna quindi dare importanza al *congiuntivo*, come di nuovo Bruner dice a proposito della letteratura: “L’altro motivo per studiare la narrativa consiste nel comprenderla per meglio coltivare le sue illusioni di realtà, nel <<congiuntivizzare>> gli ovvi indicativi della vita di tutti i giorni...Dopotutto, la sua missione è ridare stranezza al familiare, trasformare l’indicativo in congiuntivo”⁶⁶. Nell’insegnamento scientifico, è di fondamentale importanza formativa lo sviluppo, nello studente, della consapevolezza della distinzione e contemporaneamente del rapporto costante che vi è tra fatti, fenomeni, esperimenti, da una parte, e interpretazioni, ipotesi, teorie⁶⁷, dall’altra, e quindi del significato profondamente diverso, ad esempio, di queste due formulazioni: *le cose stanno in questo modo* o *io penso che le cose stiano in questo modo*. Ma Bruner ci ricorda che “l’atteggiamento interpretativo non è sempre gradito ai poteri costituiti, la cui autorità è fondata sul dare per scontato il mondo così com’è”⁶⁸.

Se l’analogia tra letteratura e scienza potesse sembrare troppo ardita, basta pensare a come Popper ha costantemente descritto la scienza: “Secondo la concezione della scienza che sto cercando di sostenere, ciò è dovuto al fatto che gli scienziati hanno osato creare dei miti, o congetture, o teorie, che pur essendo in netto contrasto con il mondo quotidiano dell’esperienza comune, sono tuttavia capaci di spiegare alcuni aspetti di tale mondo ... E questi tentativi di *spiegare il noto per mezzo dell’ignoto* hanno enormemente ampliato il dominio della conoscenza”⁶⁹.

La legge di Proust

Lavoisier, sulla base dei dati analitici allora disponibili, riteneva che molte sostanze avessero una composizione costante. Dopo Lavoisier, la determinazione della composizione quantitativa delle sostanze diventò, come lo stesso Lavoisier aveva previsto, uno dei *compiti più importanti della chimica*; in questo modo si realizzò la *matematizzazione della scienza chimica*: la grandezza da misurare era il peso e le operazioni matematiche impiegate non erano altro che somme, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni. Con la teoria chimica lavoisieriana, il peso delle sostanze, mentre in precedenza era stato considerato una variabile irrilevante nella comprensione dei fenomeni chimici, diventava la *grandezza fondamentale della chimica*. Anche per la chimica la fondazione scientifica si realizzava con l’individuazione di concetti specifici di tipo quantitativo.

Tutto il materiale sperimentale sulla composizione dei composti raccolto verso la fine del ‘700 portava a due conclusioni in apparenza opposte, ma nessuna delle quali contraddiceva le concezioni teoriche di quel tempo (es.: legge di conservazione del peso/massa). Secondo la prima di esse, nella formazione dei composti chimici, viene rigorosamente osservata la costanza della loro composizione ponderale, indipendentemente dal modo in cui sono stati ottenuti. Secondo l’altra, gli elementi chimici possono, in condizioni diverse, dare composti di diversa composizione ponderale.

Proust concentrò il suo lavoro sperimentale su quei composti che Lavoisier aveva considerato a composizione variabile, quali gli ossidi metallici, ed in particolare si dedicò allo studio degli ossidi del ferro. Se il ferro fosse, come si pensava, capace di combinarsi con l’ossigeno in tutte le proporzioni tra 27% e 48%, che sembravano essere i due limiti estremi della sua combinazione con questo elemento, avrebbe dovuto dare con lo stesso acido (ad es. acido solforico) tante combinazioni diverse quanti ossidi differenti poteva produrre. Proust arrivò alla conclusione che - *al di là dell’apparenza* - esistono soltanto due solfati del ferro e che i solfati a composizione intermedia non sono altro che miscele di questi due⁷⁰: “ Un gran numero di fatti prova al contrario che malgrado i differenti gradi di ossigenazione, per i quali si crede che il ferro possa passare quando è esposto all’aria, non si conoscono che due solfati di questo

⁶³ F. Olmi, *Una sfida da raccogliere: l’esistenza di un più efficace approccio ai saperi scientifici fin dai primi livelli scolari*, in *Naturalmente*, 2002, n. 4, pp. 31-39.

⁶⁴ J. Bruner, op. cit., p. 154

⁶⁵ C. Fiorentini, *Psicologia, epistemologia e storia nel rinnovamento del curriculum chimico*, in *Rassegna*, 2000, n. 12, pp.28-42.

⁶⁶ J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, pp. 12, 13.

⁶⁷ M. Ciardi, *Il ruolo della storia e dell’epistemologia nella costruzione del curriculum verticale: Per una storia della didattica della chimica e una rivalutazione della ruolo della cultura chimica in Italia*, in *La Chimica nella Scuola*, 2002, n. 3, pp. 79-83.

⁶⁸ J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, p. VII.

⁶⁹ K. Popper, *Congetture e confutazioni*, Bologna, Il Mulino, 1921, p.177.

⁷⁰ Infatti la spiegazione all’*apparenza* più ragionevole è quella di ritenere che il solfato ferroso (verde), lasciato all’aria, è capace di produrre un numero indefinito di solfati, corrispondenti ai diversi gradi di ossidazione del ferro.

metallo..... Tra questi due solfati non vi è nessun intermediario. Se dei solfati verdi, esposti al contatto dell'aria, prendono un colore che sembra non appartenere né all'una né all'altra delle specie già citate, ci si convincerà che essi non sono che una miscela dei due, separandoli con l'alcol". Questa conclusione è connessa alla chiara affermazione di un altro *principio basilare della chimica, la distinzione tra composti e miscugli*⁷¹; questo concetto venne utilizzato costantemente da Proust.

Nel 1799 Proust, in un articolo dedicato alla composizione dell'ossido rameico, enunciò per la prima volta, la *legge delle proporzioni definite*, secondo la quale *tutte le sostanze hanno composizione costante*. Nella fase della scoperta, ciò che differenzia un'ipotesi corretta da una sbagliata, non è generalmente, il grado di conferma. Anche l'ipotesi delle proporzioni definite, come l'ipotesi di Lavoisier sulla costanza del peso, costituisce un esempio di generalizzazione affrettata; infatti, quando l'ipotesi fu enunciata per la prima volta, le esperienze su cui si basava erano limitate, ma *l'enunciazione affrettata dell'ipotesi, come tutte le intuizioni geniali, svolse un ruolo fondamentale di indirizzo della ricerca chimica*. Intorno al 1810 le conferme sperimentali dell'ipotesi erano ormai tali da permettere il suo accesso al rango dei principi basilari della chimica.

Evidentemente Proust, sulla base delle sue analisi realizzate nel decennio precedente, e dell'*intuizione* dell'importante principio della distinzione tra composti e miscugli, si era già convinto che la composizione definita è una caratteristica di tutti i composti. Berthollet era in favore, invece, della seconda teoria. Secondo Berthollet, infatti, se un composto consisteva degli elementi X e Y esso avrebbe contenuto una quantità di X superiore alla media, se fosse stato preparato adoperando una dose eccessiva di X. All'opinione di Berthollet si opponeva quella di Proust, il quale ricorrendo ad analisi meticolosamente accurate, dimostrò nel 1799 che il carbonato di rame, per esempio, conteneva proporzioni definite, in peso, di rame, carbonio e ossigeno, in qualunque modo fosse stato preparato in laboratorio o isolato dalle fonti naturali. Il rapporto dei composti era sempre di 5,3 parti di rame contro 4 parti di ossigeno e 1 di carbonio.

Proust, formulando la generalizzazione in base alla quale in tutti i composti gli elementi erano contenuti in determinate proporzioni definite e non in altre combinazioni, indipendentemente dalle condizioni in cui i composti stessi venivano prodotti, effettuò una *generalizzazione di livello superiore* (la legge di Proust è una generalizzazione di generalizzazioni) che suscitò le critiche di Berthollet: questi infatti *fu in grado di produrre un certo numero di esempi in contraddizione con la legge*.

Berthollet non contestava la costanza della composizione per molte sostanze, ma non era disposto ad accettare la generalizzazione di questa affermazione, cioè la legge della costanza della composizione per tutti i composti. I controesempi più significativi forniti da Berthollet rimasero le leghe ed i vetri; queste sostanze hanno composizione variabile e sono effettivamente, come sosteneva Proust dei miscugli (delle soluzioni solide), ma in questo caso Proust non fu in grado di fornire un criterio operativo capace di chiarire il problema.

Dal momento in cui fu annunciata la legge di Proust, il mondo scientifico fu costretto a compiere profonde meditazioni su di essa. Se la natura della materia fosse stata continua (come sosteneva Berthollet), questa circostanza sarebbe stata difficile da spiegare. Perché gli elementi non potevano combinarsi secondo proporzioni leggermente variabili? La risposta a questa domanda fu data dalla teoria atomica, che ha la sua lunga storia. Ma solo adesso è giunta la sua ora. Dopo la creazione della teoria dell'ossigeno e del concetto di elemento chimico, dopo la scoperta delle leggi stechiometriche, lo sviluppo della chimica presupponeva, sotto gli aspetti logico e storico, lo sviluppo della concezione atomistica della struttura delle sostanze.

La legge di Proust costituì una legge indubbiamente affrettata, dal punto di vista di canoni scientifici astratti, una legge falsa. E, paradossalmente proprio in questa sua problematicità risiede la sua importanza, che consiste in questi aspetti:

- 1) afferma l'esistenza di una determinata regolarità: la legge di Proust definiva in modo rigoroso i composti e forniva un criterio per individuarli;
- 2) spesso la nuova regolarità solleva altri interrogativi; nel caso della legge in oggetto, molti chimici iniziarono a chiedersi perché dalla combinazione degli elementi tra loro si ottenevano generalmente pochi composti (2, 3, 4) e per di più con composizione fissa. La risposta a questi interrogativi sarebbe venuta pochi anni dopo con la teoria atomistica di Dalton, che avrebbe poi conferito alla chimica, nell'arco di alcuni decenni, capacità esplicative e predittive inimmaginabili;
- 3) una legge rende possibile la ricerca scientifica; dopo Proust, la determinazione della composizione quantitativa dei composti diventò un'attività centrale della chimica. Inoltre, tutti gli sviluppi teorici successivi furono possibili perché, nell'arco di pochi decenni, il perfezionamento o l'invenzione di nuovi strumenti per l'analisi quantitativa dei composti raggiunsero un tale sviluppo da permettere la determinazione accurata delle composizioni. Tutto ciò fu possibile grazie alla *convincione che le sostanze hanno composizione costante* e che quindi, ad esempio, risultati più o meno diversi delle analisi dipendano non da una variabilità nella composizione delle sostanze, ma soltanto dall'incertezza dei dati sperimentali. Tale convinzione fornì anche un criterio operativo: quando i risultati di poche analisi (2-3) presentavano una dispersione contenuta

⁷¹ I composti erano considerate da Proust le "combinazioni vere".

entro margini di errore accettabili, la ricerca terminava e la composizione veniva semplicemente ricavata effettuando la media dei valori sperimentali.

L'insegnamento della biologia e il riduzionismo

La biologia rappresenta un caso paradossale: nonostante sia l'ambito dove maggiore è stata la riflessione sui limiti del riduzionismo⁷², la sua impostazione didattica quasi universale è riduzionista della "peggiore specie", in quanto si rivolge, in un linguaggio chimico-fisico sofisticato, a studenti che stanno eventualmente acquisendo le prime conoscenze di chimica e di fisica. Anche all'interno del progetto Brocca il *Laboratorio di fisica e chimica*, di cui abbiamo lungamente trattato, è l'unico programma innovativo in riferimento all'insegnamento scientifico. Contemporaneamente ad esso vennero, infatti, scritti i programmi, sempre per il biennio, di Scienze della Terra e di Biologia, che costituiscono, a nostro parere, esempi emblematici di programmi totalmente assurdi. Ad esempio, il programma di biologia ha il suo fondamento sulla biologia molecolare, quando gli studenti a cui viene proposto non hanno nessuna conoscenza sensata della chimica organica⁷³.

La didattica delle scienze sembra quasi la negazione della scienza; mentre nella scienza le nuove conoscenze si sviluppano sulla base di quelle precedenti, nella didattica scientifica si riparte sempre da capo; non è rimasta, ad esempio nessuna traccia delle illuminanti riflessioni che Ausubell ha dedicato all'insegnamento della biologia qualche decennio fa.

Ausubell non condivise le proposte didattiche di tipo strutturalista, che vennero predisposte a partire dal libro di Bruner *Dopo Dewey, il processo di apprendimento nelle due culture*⁷⁴, basate sull'assunto che fosse possibile insegnare qualsiasi concetto a qualsiasi età⁷⁵. "Uno dei caratteri distintivi del movimento per la riforma degli studi è la correzione eccessiva del livello inutilmente basso di sofisticazione con cui si insegnavano, e in parte si insegnano ancora, molte materie nelle scuole superiori. In scienze tale tendenza è sottolineata da un virtuale rifiuto dell'approccio descrittivo, naturalistico e applicato e da una enfattizzazione degli aspetti analitici, sperimentali e quantitativi della scienza. In un corso introduttivo di biologia per le scuole superiori, per esempio, il nuovo contenuto consiste in gran parte di argomenti biochimici altamente sofisticati, che presuppongono un'avanzata conoscenza della chimica, da parte di studenti che non hanno alcuna preparazione della materia"⁷⁶.

La sua analisi si concentrò sul più significativo progetto attivato negli Usa, il BSCS (Biological Sciences Curriculum Study), di cui vennero approntate più versioni. Le critiche maggiori sono rivolte alla versione blu, che è stata l'unica tradotta, non casualmente, in italiano: "la versione blu presenta un materiale di biologia di difficoltà e sofisticazione a livello universitario a studenti che non hanno le basi necessarie in chimica, fisica e biologia elementare, per poterle apprendere in modo significativo... I particolari estremamente sofisticati non solo sono inutili e non appropriati per un corso introduttivo, ma impacciano anche l'apprendimento e ingenerano delle valenze negative verso la materia"⁷⁷. La versione verde ha un'impostazione epistemologica molto più adeguata della gialla e della blu: essa permette, infatti, di comprendere che la conoscenza biologica, che non viene presentata come una verità assoluta, "cambia con la scoperta di nuovi fatti e nuove tecniche e quando vengono avanzate nuove teorie. Infine la versione verde suggerisce più esplicitamente che i concetti e le classificazioni della biologia sono dei tentativi che l'uomo fa per interpretare, organizzare e semplificare quello che comprendiamo dei fenomeni naturali; e che tali concetti e categorie né coincidono con i dati da cui sono ricavate, né rappresentano l'unico modo di concettualizzare e categorizzare quei dati"⁷⁸. Far comprendere la distinzione tra fatti e concezioni teoriche è di grande rilevanza sul piano didattico: nell'insegnamento scientifico l'accesso al significato, e non soltanto la mera memorizzazione, è infatti strettamente connesso alla comprensione della distinzione e delle relazioni che esistono tra fatti e teorie.

Per Ausubell un corso introduttivo di biologia nella scuola secondaria superiore dovrebbe mantenere un approccio prevalentemente naturalistico e descrittivo. "Per dirla in breve, la biologia per le scuole superiori dovrebbe concentrarsi su quei concetti biologici generali che costituiscono una parte dell'istruzione generale, piuttosto che sull'analisi particolareggiata e tecnica delle basi fisiche e chimiche dei fenomeni biologici o della morfologia e della funzione delle microstrutture intracellulari"⁷⁹. ... Per lo studente principiante in scienze, è molto più importante imparare ad osservare sistematicamente⁸⁰ e con precisione gli eventi naturali, e a

⁷² G. G. Simpson, *Evoluzione. Una visione del mondo*, Firenze, Sansoni, 1972.

⁷³ C. Fiorentini, *Il ruolo delle scienze sperimentali nel progetto Brocca*, in *Insegnare*, 1992, n. 7, pp. 14-16.

⁷⁴ Bruner con cui polemizzò Ausubell 30 anni fa ha ben poco in comune con il Bruner a cui abbiamo fatto riferimento in questo saggio. Già negli anni 60, Bruner, interessandosi sempre più di educazione, iniziò un cammino che lo avrebbe portato a posizioni pedagogiche molto diverse e molto più complesse di quelle presenti in libro *Dopo Dewey. Il processo di apprendimento nelle due culture* che lo rese famoso a livello mondiale.

⁷⁵ Questa concezione bruneriana era stata criticata aspramente fin dall'inizio da alcuni pedagogisti, tra i quali Lydia Tornatore (*Educazione e conoscenza*, Torino, Loescher, 1974.)

⁷⁶ D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Milano, Angeli, 1983, p. 470.

⁷⁷ *Ibidem*, p. 452.

⁷⁸ *Ibidem*, p. 454.

⁷⁹ *Ibidem*, pp. 470-471.

⁸⁰ D. Basosi, *Perché le piante*, in *Naturalmente*, 2003, n. 2, pp. 29-31.

formulare e a verificare ipotesi sulla base di antecedenti e conseguenti che si verificano naturalmente piuttosto che imparare a manipolare una variabile sperimentale e a controllare altre variabili rilevanti, su un progetto, in una situazione di laboratorio. Il primo approccio non solo ha la precedenza nello sviluppo intellettuale dello studente, ed è più consono al suo bagaglio di esperienze, ma ha anche un maggiore valore di trasferimento per la soluzione di problemi nella vita reale. L'eguagliare dogmaticamente il metodo scientifico con l'approccio sperimentale-analitico esclude anche, piuttosto sommariamente, dall'ambito scientifico, settori della biologia, come l'ecologia, la paleontologia, e l'evoluzione, ed altre discipline, quali la geologia, l'astronomia, la meteorologia, l'antropologia e la sociologia⁸¹.

Ed infine: alcune considerazioni sull'insegnamento della fisica

Per l'insegnamento della fisica nella scuola secondaria superiore le considerazioni che abbiamo sviluppato in questo contributo sono, a nostro parere, tutte pertinenti; tuttavia, pensiamo necessario evidenziare una differenza con la chimica e la biologia: non è necessario un capovolgimento dell'asse culturale, perché anche noi riteniamo che l'insegnamento fondamentale debba essere costituito dalla fisica classica; pensiamo, inoltre, che, nell'insegnamento della fisica, a nessuno verrebbe in mente di insegnare la fisica relativistica o la fisica quantistica come insegnamento di base, come avviene nel caso della chimica e della biologia.

Fatta questa non marginale precisazione, tuttavia, i nodi di fondo dell'insegnamento della fisica rimangono tutti generalmente irrisolti, perché anche nel caso della fisica il canone enciclopedico (meccanica classica, ottica, elettromagnetismo, calorimetria, termodinamica, fisica del Novecento), la visione deduttivistica ed il mito della quantificazione⁸² comportano necessariamente un'impostazione nozionistica, addestrativa, tecnicistica. Anche nel caso della fisica, il nodo preliminare è la scelta dei contenuti in relazione alle ore a disposizione, per potere avere i tempi per un insegnamento *significativo* per lo studente⁸³ – problematico, situato, contestuale, riflessivo, metacognitivo-; abbiamo indirizzi in cui è insegnata 2-3 ore settimanali per un paio di anni, ed alcuni indirizzi sperimentali in cui è insegnata 3 ore per tutti e cinque gli anni.

Le leggi di Newton, ad esempio, non vengono comprese dalla maggior parte degli studenti nell'insegnamento usuale⁸⁴, assiomatico, nozionistico e addestrativo, ma possono essere, invece, comprese avendo a disposizione tempi lunghi, attenzione al linguaggio, al rigore scientifico, e innanzitutto agli ostacoli epistemologici; possono essere comprese soltanto all'interno di un'impostazione problematica, quale può essere garantita dallo loro contestualizzazione. Per un non esperto, il significato di un concetto non può essere ricavato da relazioni logiche all'interno di un'organizzazione deduttiva, a partire da concetti e teorie ancora più generali, di cui sfugge, a maggior ragione, il significato. Il principio di inerzia, principio fondamentale su cui si basa la scienza moderna, non può diventare significativo per lo studente se viene presentato sbrigativamente in modo assiomatico. Vi è forse principio meno intuitivo, più in contraddizione con il senso comune, di questo? Di un principio che asserisce che un corpo in movimento continua a muoversi all'infinito di movimento rettilineo uniforme, senza l'intervento di una forza! Con questo principio, il movimento assumeva finalmente, nel Seicento, lo stesso statuto ontologico della quiete.

Il contributo di Paola Falsini, sperimentato in una classe terza di un liceo scientifico, costituisce un esempio innovativo di insegnamento della fisica, e completamente in sintonia con le considerazioni sviluppate in questo nostro saggio, un esempio proprio basato sulla costruzione problematica e complessa del principio di inerzia.

Bibliografia

Epistemologia, storia della scienza, pedagogia

- F. Abbi, *Le terre, l'acqua, le arie*, Bologna, Il Mulino, 1984
D. Antiseri, *Jenner e la ricerca sulle cause e gli effetti del vaiolo vaccino*, Brescia, La Scuola, 1981, p.27.
A.B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli, 1992.
D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Milano, Angeli, 1983, pp. 452, 453, 544, 470.
G. Bachelard, *L'intuizione dell'istante. La psicanalisi del fuoco*, Bari, Dedalo, 1973.
G. Bachelard, *Il materialismo razionale*, Bari, Dedalo, 1975.
G. Bachelard, *Il razionalismo applicato*, Bari, Dedalo, 1975.
J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano, Feltrinelli, 1997, pp. 8, 185.
J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, p. VII.

⁸¹ D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Milano, Angeli, 1983, p. 471.

⁸² T. Khun, *La funzione della misura nella scienza fisica moderna*, in *La tensione essenziale*, Torino, Einaudi, pp.193-243.

⁸³ P. Falsini, *Tempi distesi e scelta dei contenuti per rinnovare l'insegnamento scientifico*, in *Naturalmente*, 2003, n. 3, pp. 40-42.

⁸⁴ P. Falsini, *La fisica ingenua resiste*, in *La Fisica nella Scuola*, 2004, n. 1, pp. 13-18.

- M. Callari Galli, F. Cambi, M Ceruti, *Formare alla complessità*, Roma, Carocci, 2003, p.144.
- F. Cambi (a cura di), *La progettazione curricolare nella scuola dell'autonomia*, Roma, Carocci, 2002.
- F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004, p.80.
- C. Canguilhem, *Il normale e il patologico*, Torino, Einaudi, 1998.
- N. Caramelli (a cura di), *Storiografia delle scienze e storia della psicologia*, Bologna, Il Mulino, 1979.
- Y. Elkana, *La scoperta della conservazione dell'energia*, Milano, Feltrinelli, 1977.
- P. K. Feyerabend, *Scienza come arte*, Bari, Laterza, 1984.
- E. Ferreiro, A Teberosky, *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Firenze, Giunti, 1985, p 25-26.
- C. C. Gillespie, *Il criterio dell'oggettività. Interpretazione storica del pensiero scientifico*, Bologna, Il Mulino, 1981.
- N. Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche, le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991.
- J. C. Greene, *La morte di Adamo. L'evoluzionismo e la sua influenza sul pensiero occidentale*, Milano, Feltrinelli, 1971.
- J. Heilbron, *Alle origini della fisica moderna. Il caso dell'elettricità*, Bologna, Il Mulino, 1984.
- G. Holton, *La Lezione di Einstein. In difesa della scienza*, Milano, Feltrinelli, 1997.
- G. Holton, *Scienza, educazione e interesse pubblico*, Bologna, Il Mulino, 1990.
- T. Kuhn, *La tensione essenziale*, Torino, Einaudi, 1985.
- M. Jammer, *Storia del concetto di spazio*, Milano, Feltrinelli, 1963.
- M. Jammer, *Storia del concetto di forza*, Milano, Feltrinelli, 1971.
- M. Jammer, *Storia del concetto di massa*, Milano, Feltrinelli, 1974.
- A. Koyrè, *Dal mondo del pressappoco al mondo della precisione*, Torino, Einaudi, 1967.
- T. S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1969.
- T. S. Kuhn, *La rivoluzione copernicana*, Torino, Einaudi, 1972.
- T. Khun, *La tensione essenziale: tradizione e innovazione nella ricerca scientifica* in *La tensione essenziale*, Einaudi, 1985, p. 249.
- I. Lakatos, A Musgrave, *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1976.
- E. Mayr, *Storia del pensiero biologico*, Torino, Bollati Boringhieri, 1990.
- D. Park, *Natura e significato della luce*, Milano, McGraw – Hill, 1998.
- C. Pontecorvo, A. M. Ajello, C. Zucchermaglio, *Discutendo si impara*, Firenze, La Nuova Italia, 1991.
- K. R. Popper, *Congetture e confutazioni*, Bologna, Il Mulino, 1972.
- L. Preta, (a cura di), *Immagini e metafore della scienza*, Bari, Laterza, 1992.
- H. Read, *Geologia: introduzione alla storia della Terra*, Bari, Laterza, 1954.
- A. G. Roche, *Chemical atomism in the nineteenth century*, Ohio State University Press, Columbus, 1986.
- R. Rorty, *Scritti sull'educazione*, Firenze, La Nuova Italia, 1996.
- P. Rossi, *La nascita della scienza moderna in Europa*, Bari, Laterza, 1997.
- J.J. Schwab, P. F. Brandwein, *L'insegnamento della scienza*, Roma, Armando, 1965, p. 75.
- G. G. Simpson, *Evoluzione. Una visione del mondo*, Firenze, Sansoni, 1972.
- L. Tornatore, *Educazione e conoscenza*, Torino, Loescher, 1974.
- M. M. Waldrop, *Complessità. Uomini e idee al confine tra ordine e caos*, Torino, Instar, 1996
- J. Watkins, *Contro la scienza normale*, in I. Lakatos, A Musgrave, *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1976, p. 102.

Didattica delle scienze

- A.A.V.V., *L'educazione scientifica di base*, Firenze, La Nuova Italia, 1979.
- A.A.V.V., *Scienza e scuola di base*, Roma, Istituto Enciclopedia Italiana, 1979.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *Il senso di fare scienze. Un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, Torino, Bollati Boringhieri, 1995.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *I modi di fare scienze*, Torino, Bollati Boringhieri, 2000.
- E. Aquilini, *Il ruolo del linguaggio nel passaggio dai concetti di senso comune ai concetti scientifici*, *Insegnare*, n. 11/12, 1999, pp. 34-37.
- E. Aquilini, *Il ruolo del concetto di gas nella costruzione delle basi della chimica*, *La Chimica nella Scuola*, n. 5, 2000, pp.149-152.
- E. Aquilini, *Quale concetto di acido e base nella parte terminale dell'obbligo scolastico?*, *La Chimica nella Scuola*, n. 3, 2001, pp. 96-99.
- E. Aquilini, *Gli insegnanti e le scienze*, in *Scuola e Didattica*, 2003, n. 6, pp. 19-22.
- M. Arcà, P. Guidoni, P. Mazzoli, *Insegnare scienza*, Milano, Angeli, 1982.
- M. Arcà, P. Guidoni, *Guardare per sistemi, guardare per variabili*, Torino, Emme-Petrini,

1987.

- A. Bagni, *Il bisogno di senso dell'insegnamento scientifico*, in R. Conserva (a cura di), *Il nuovo esame di stato*, Bologna, Zanichelli, 1999. pp. 62-64.
- L. Barsantini, *Sull'insegnamento della fisica*, *Insegnare*, n. 5, 2000, pp. 42-45.
- L. Barsantini, *I fenomeni termici*, *Insegnare*, n. 7/8, 2000, pp. 43-48.
- L. Barsantini, C. Fiorentini, *L'insegnamento scientifico verso un curricolo verticale. Volume primo. I fenomeni chimic-fisici*, L'Aquila, IRRSAE Abruzzo, 2001.
- D. Basosi, L. Lachina, *L'insegnamento della biologia nella scuola dell'obbligo*, *Insegnare*, n. 9, 2000, pp. 43-46.
- D. Basosi, *Perché le piante*, in *Naturalmente*, 2003, n. 2, pp. 29-31.
- L. Bastino, B. Sandretto, E. Roletto, *Imparare le scienze, imparare a scrivere: una interdisciplinarietà funzionale*, *Insegnare*, n. 1, 1997, pp. 42-49.
- C. Bernardini, *Che cos'è una legge fisica?*, Roma, Editori Riuniti, 1983.
- A. Borsese, C. Fiorentini, E. Roletto, *Formule sulla leggibilità e comprensione del testo. Considerazioni su una ricerca relativa ai manuali di scienze della scuola media*, *Scuola e Città*, n. 12, 1996, pp. 524-527.
- F. Cambi, C. Fiorentini, F. Gori (a cura di), *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare percorsi didattici nella scuola dell'autonomia. Il Itinerari di sperimentazione in classe. Area Scientifica*, Firenze, Le Monnier, 2001.
- P. Cancellieri, P. Saracino, E. Torracca, *Definizioni operative di sistema omogeneo e di sostanza pura*, *Didattica delle Scienze*, n. 113, 1984. p. 9
- G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, Firenze, La Nuova Italia, 1995.
- G. Cortellini, A. Mazzoni, *L'insegnamento delle scienze verso un curricolo verticale. Volume secondo. I fenomeni biologici*, L'Aquila, IRRSAE Abruzzo, 2002,
- G. Cortini (a cura di), *Le trame concettuali delle discipline scientifiche. Problemi dell'insegnamento scientifico*, Firenze, La Nuova Italia, 1985.
- R. Driver, *L'allievo come scienziato? La formazione dei concetti scientifici nei preadolescenti*, Bologna, Zanichelli, 1988.
- P. Falsini, *Tempi distesi e scelta dei contenuti per rinnovare l'insegnamento scientifico*, in *Naturalmente*, 2003, n. 3, pp. 40-42.
- P. Falsini, *La fisica ingenua resiste*, in *La Fisica nella Scuola*, 2004, n. 1, pp. 13-18
- C. Fiorentini, *La prima chimica*, Milano, Angeli, 1990.
- C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo di scienze?*, in F. Cambi (a cura di), *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola dell'autonomia*, Firenze, Le Monnier, 2000, pp. 275-290.
- C. Fiorentini, *Psicologia, epistemologia e storia nel rinnovamento del curricolo chimico*, in *Rassegna*, 2000, n. 12, pp.28-42.
- C. Fiorentini, E. Roletto, *Ipotesi per il curricolo di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 158-168.
- Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991.
- R. Karplus, H. D. Thier, *Rinnovamento dell'educazione scientifica elementare*, Bologna, Zanichelli, 1971.
- M. Mayer, *Conoscenza scientifica e conoscenza di senso comune*, Frascati, CEDE, 1987.
- P. Mirone, *Per un più efficace insegnamento delle scienze*, *Nuova Secondaria*, n. 5, 1995, pp. 21-24.
- P. Mirone, *Per una definizione operativa del concetto di reazione*, *Nuova Secondaria*, n. 2, 1996, pp. 84-86.
- P. Mirone, *Considerazioni sul concetto di reazione chimica*, *La Chimica nella Scuola*, n. 2, 1998, pp. 49-51.
- P. Mirone, *Perché la chimica è difficile?*, *La Chimica nella Scuola*, n. 3, 1999, pp. 67-70.
- P. Mirone, E. Roletto, *Sostanze, miscele, reazioni: un'indagine sulle concezioni delle matricole di chimica*, *La Chimica nella Scuola*, n. 4, 1999, pp. 116-121.
- F. Olmi, *Ripensare i fondamenti dell'insegnamento della chimica al biennio*, *La Chimica nella Scuola*, n. 1, 1997, pp. 9-13.
- F. Olmi, *Una sfida da raccogliere: l'esistenza di un più efficace approccio ai saperi scientifici fin dai primi livelli scolari*, in *Naturalmente*, 2002, n. 4, pp. 31-39.
- C. Pontecorvo (a cura di), *Conoscenza scientifica e insegnamento*, Torino, Loescher, 1983.
- S. Tamburini, *Cambiare la scuola, in America*, *Sapere*, n. 5, 1997, pp. 45-51.
- A. Testoni, D. Colombi, *Quale teoria per gli acidi? La teoria dell'acidità di Lavoisier*, in *Atti del XII Congresso della Divisione Didattica della Società Chimica Italiana*, Trieste, 2001, pp. 139-149.

- E. Torracca, *Una dimensione storica nell'insegnamento della chimica?*, Epsilon, n. 2, 1994, pp. 17-22.