

Quali condizioni per il rinnovamento dell'insegnamento scientifico?¹

Carlo Fiorentini, Eleonora Aquilini, Domenica Colombi, Antonio Testoni

Per avere un insegnamento significativo sono necessari tempi lunghi - tempi adeguati - per ciascuna problematica affrontata; 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

¹ In C. Fiorentini, E. Aquilini, D. Colombi, A. Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze. Per una didattica dei concetti fondamentali della chimica*, Roma, Armando 2007.

stessa, indipendentemente dal fatto che si concordi o meno con esse”². 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”³.

Per comprendere qualcosa in ambito scientifico non si possono 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 giustizia, e la possibilità di interpretazioni diverse non le autorizza tutte indiscriminatamente”⁴.

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 scolastiche⁵. 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 lunghi. Questa esigenza è, a nostro parere imprescindibile sia nella scuola di base 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

² J. Bruner, *La cultura dell’educazione*, Milano Feltrinelli, 1997, p. 179, 27.

³ F. Cambi, *La complessità come paradigma formativo*, in op. cit. p. 142.

⁴ J. Bruner, op. cit., p. 27.

⁵ “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.

scientifiche, quello che diceva Mies van der Rohe a proposito dell'architettura, che 'di meno è di più'⁶.

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 ore 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"⁷.

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:

⁶ J. Bruner, op. cit., pp. 10, 142.

⁷ 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.

“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 contemporanee, e come ambito entro il quale far esercitare le dimensioni di responsabilità della scelta e il coinvolgimento etico che essa comporta”⁸.

Entriamo 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 curriculum universitario branche specialistiche ampie e complesse (è sufficiente pensare alla termodinamica⁹). 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 incontro con 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

⁸ 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.

⁹ P. Mirone, *La termodinamica può essere insegnata agli adolescenti?* In *Nuova Secondaria*, 1994, n. 3, pp. 78-81.

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 competenza¹⁰. 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 medicina¹¹.

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.

¹⁰ 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.

¹¹ G. Bini, A. Borsese, *Alcune considerazioni sui test per l'ammissione all'Università in Italia*, *Scuola e Città*, 1995, n. 9, pp. 384-389.

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 usuale della chimica del Novecento 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 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 importante¹², 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 troviamo 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

¹² 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.

fenomeni del mondo che ci circonda per giungere in modo graduale all'aspetto particellare senza entrare nel merito del modello elettronico della struttura atomica"¹³.

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, laboratoriale¹⁴ 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 Roche - 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"¹⁵.

Rispetto alle modalità prevalenti sistematico-deduttivo-addestrative dell'insegnamento scientifico, il ribadimento della centralità del laboratorio e più in generale di impostazioni operative

¹³ *Piani di studio della scuola secondaria superiore e programmi dei primi due anni. Le proposte della Commissione Brocca*, Firenze, Le Monnier, p. 281, 1991.

¹⁴ 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.

¹⁵ 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).

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 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 esser insegnata come prima chimica; venne tradotta dalla Zanichelli all'inizio degli anni settanta¹⁶, 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

¹⁶ *Nuffield Chimica, Livello I*, Bologna, Zanichelli, 1973; *Nuffield Chimica, Livello II*, Bologna, Zanichelli, 1974.

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”¹⁷.

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”¹⁸. 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”¹⁹. 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 contribuirono 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”²⁰.

¹⁷ J, Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano, Feltrinelli, 1997, pp. 8, 185.

¹⁸ *Ibidem*, p. 9.

¹⁹ *Ibidem*, p. 192.

²⁰ *Ibidem*, p. 11.

“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 più grandi regali che una psicologia culturale possa fare all’educazione sia la riformulazione di questa concezione ormai svuotata di significato²¹ (...) 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”²².

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 conosciuto²³. 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

²¹ Ibidem, p. 34.

²² Ibidem, p. 95.

²³ 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 vygotsljiana, fu: C. Pontecorvo, A. M. Ajello, C. Zuccheraglio, *Discutendo si impara*, Firenze, La Nuova Italia, 1991,

interiorizzata (il pensiero) o l'azione reale (a seconda del suo livello di sviluppo)"²⁴. 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”²⁵.

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”²⁶. 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

²⁴ E. Ferreiro, A Teberosky, *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Firenze, Giunti, 1985, p 25-26.

²⁵ J. Bruner, op. cit., p. 53.

²⁶ *Ibidem*, p. 135.

differenza della spiegazione, comprende sempre più interpretazioni; “né l’interpretazione di una particolare narrazione esclude altre interpretazioni...la regola è la polisemia”²⁷.

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 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*”²⁸.

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 ²⁹. ... “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

²⁷ Ibidem, p. 103.

²⁸ Ibidem, p. 53.

²⁹ Ibidem, p. 126.

presentata nel libro di testo, nel manuale e nel comune e spesso noioso ‘esperimento di dimostrazione’³⁰.

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 narrazione, 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 gas, le leggi di Lavoisier, le leggi di Dalton, la legge di Gay Lussac, la creazione delle formule chimiche (del linguaggio della chimica), 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 problematicità; 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 induttivo, 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 fare in modo che ciò che è apparentemente ovvio diventi un problema, 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”³¹. Occorre ridare centralità alle ipotesi scientifiche³², 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”³³. Nell’insegnamento scientifico, è di fondamentale importanza formativa lo sviluppo, nello studente,

³⁰ Ibidem, p.138, 140.

³¹ J. Bruner, op. cit., p. 154

³² C. Fiorentini, *Psicologia, epistemologia e storia nel rinnovamento del curriculum chimico*, in Rassegna, 2000, n. 12, pp.28-42.

³³ J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, pp. 12, 13.

della consapevolezza della distinzione e contemporaneamente del rapporto costante che vi è tra fatti, fenomeni, esperimenti, da una parte, e interpretazioni, ipotesi, teorie³⁴, 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”³⁵.

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”³⁶.

Il rinnovamento del curriculum della chimica

Le conoscenze chimiche fanno riferimento essenzialmente a 4 ambiti: l’ambito dei fenomeni, l’ambito delle leggi macroscopiche, quello dei modelli microscopici ed infine quello del linguaggio chimico. La nostra proposta pedagogico-didattica di insegnamento della chimica nella scuola preuniversitaria attribuisce un ordine di tipo psicologico ai primi tre ambiti, e considera invece l’ambito del linguaggio chimico trasversale a tutte tre:

1) fenomeni chimici (concetti operativi)	linguaggio
2) concetti, leggi e teorie macroscopiche (chimica classica Lavoisieriana)	chi-
3) modelli e teorie microscopiche (chimica classica Daltoniana e chimica del Novecento)	mico

Riteniamo, cioè, che, mentre nella scuola di base debba essere affrontato il primo aspetto all’interno di una generale impostazione fenomenologica-operativa dell’educazione scientifica,

³⁴ 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.

³⁵ J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, p. VII.

³⁶ K. Popper, *Congetture e confutazioni*, Bologna, Il Mulino, 1921, p.177.

nel biennio della scuola secondaria superiore sia possibile affrontare i concetti e le teorie della chimica classica, e nel triennio, in stretta connessione con l'acquisizione delle necessarie conoscenze fisiche, i modelli e le teorie microscopiche della chimica del Novecento. Siamo ovviamente consapevoli che le relazioni tra i tre ambiti siano molto più complesse, che, ad esempio, molti fenomeni siano diventati tali in connessione all'invenzione di ipotesi che fanno riferimento o alla chimica classica o alla chimica del Novecento. Conseguentemente i fenomeni che potranno essere affrontati con un'impostazione fenomenologica-operativa non potranno essere individuati casualmente (si cadrebbe in questo modo nell'induttivismo più cieco) ma soltanto attraverso una riflessione di tipo storico-epistemologico. Questa necessaria precisazione sulla non linearità delle connessioni tra i quattro aspetti fondamentali delle conoscenze chimiche non può portare, tuttavia, alla loro sovrapposizione casuale, o alla sostanziale eliminazione dei primi due aspetti, con la riduzione dell'insegnamento della chimica agli ultimi due, quello dei modelli microscopici novecenteschi e del linguaggio chimico.

Comprendiamo le motivazioni socio-culturali di questa scelta: la chimica, come d'altra parte tutte le discipline scientifiche, ha una collocazione marginale nel curriculum, ed un ruolo essenzialmente informativo più che formativo: dovrebbe fornire in un arco temporale limitato (generalmente alcune ore alla settimana nell'arco di 2 anni) nozioni sull'enciclopedia delle conoscenze chimiche oggi accreditate. Se questa impostazione poteva avere un senso in una scuola elitaria e selettiva, da alcuni decenni le ricerche sui risultati di questa impostazione dell'insegnamento hanno mostrato la drammaticità della situazione, sia in relazione alla capacità di stimolare interessi e motivazioni che ai risultati cognitivi. Infatti, per la grande maggioranza degli studenti la chimica, come viene generalmente insegnata (cioè, per loro la chimica), appare come una materia incomprensibile, astrusa, senza significato.

Siamo nel regno della più raffinata astrazione e formalizzazione. La chimica del Novecento ha realizzato il sogno riduzionista sette-ottocentesco di assumere finalmente una forma simile a quella della fisica, di ricondurre quella disciplina contaminata per lungo tempo dall'empirismo, dalle qualità secondarie dei materiali e delle sostanze, alla dignità scientifica della fisica, con i suoi eleganti formalismi e con il suo potente apparato matematico. La chimica del Novecento è finalmente diventata una disciplina caratterizzata da un'organizzazione deduttiva che ha il suo punto di partenza, i suoi assiomi, in un insieme di concetti che si riferiscono agli atomi e alle molecole e che è poi in grado di fornire spiegazioni di una molteplicità di fenomeni chimici che erano stati scoperti nel periodo della chimica classica.

Ma tutto ciò può avere per una qualsiasi persona significato soltanto se ella ha, da una parte, una grande padronanza delle teorie e dei linguaggi della fisica – che costituiscono prerequisiti

dei concetti più strettamente chimici – e dall'altra, una conoscenza significativa delle problematiche fenomenologiche e teoriche di carattere macroscopico che si vuole con i modelli microscopici spiegare. Un qualsiasi manuale che si rispetti – qualcuno potrebbe obiettare – ricostruisce in alcuni capitoli l'insieme delle teorie e dei concetti fisici sulla struttura dell'atomo che sono poi necessari per la chimica. Questi capitoli costituiscono, a nostro parere, uno dei primi esempi di totale inconsapevolezza pedagogica di questi manuali: diventa, infatti la proposta didattica di iniziazione alla chimica, indifferentemente per studenti del biennio o del triennio, la bignamizzazione di un corpo complesso di conoscenze fisiche, che potrebbe eventualmente avere un senso soltanto in un manuale universitario, quello, cioè, di schematizzare in alcune centinaia di pagine le conoscenze fisiche che si suppone che lo studente abbia già acquisito dalla scuola secondaria superiore o in specifici esami universitari di fisica.

La chimica del Novecento presuppone uno studente che abbia delle basi significative in tutti i campi della fisica, dalla meccanica alla termodinamica, dall'elettromagnetismo alla fisica quantistica; presuppone, cioè, uno studente che abbia nel corso di molti anni costruito delle conoscenze solide su teorie e concetti molto complessi e pieni di ostacoli epistemologici. Prendiamo un esempio, apparentemente tra i più banali per come è affrontato nei manuali, il passaggio dal modello atomico di Rutherford a quello di Bohr. La storiellina che viene raccontata è più o meno di questo tipo: l'ipotesi di Rutherford venne immediatamente criticata perché, alla luce delle leggi dell'elettromagnetismo, un oggetto carico, che si muove di moto circolare, perde costantemente energia, e conseguentemente l'elettrone non potrebbe rimanere nella sua orbita ma cadrebbe sul nucleo. Bohr, alcuni anni dopo, superò queste contraddizioni ipotizzando che le leggi della fisica classica non si applicassero all'infinitamente piccolo, all'atomo, e postulò conseguentemente i principi della meccanica quantistica: 1) quando un atomo non perde né acquista energia, l'elettrone si trova in un'orbita definita, 2) un elettrone non può occupare tutte le zone dello spazio, ma può transitare solo in alcune orbite, emettendo o acquistando una precisa quantità di energia. Questa è una delle storielline che si possono memorizzare più facilmente, ma che significato può avere per chi, e a maggior ragione per uno studente di 15-16 anni, non abbia conoscenze significative di fisica.

Queste conoscenze fisiche mancano a tutti gli studenti della scuola secondaria superiore, con l'eccezione del liceo scientifico e degli indirizzi sperimentali dove la fisica viene affrontata nell'arco di 3 o più anni. Ma generalmente anche in questi casi più felici la chimica viene insegnata al 3° o al 4° anno quando lo sviluppo delle conoscenze fisiche è, se va bene, a metà del cammino.

Tuttavia queste conoscenze fisiche non sarebbero ancora sufficienti per dare significato ai concetti chimici ed al linguaggio chimico del Novecento, senza una significativa conoscenza da parte degli studenti di alcune importanti classi di sostanze e trasformazioni chimiche e delle leggi macroscopiche fondamentali.

Il linguaggio chimico costituisce una delle grandi conquiste intellettuali dell'umanità. In tutti i libri di chimica, scritti nelle varie lingue della Terra, vi è una parte comune a tutti, universale, quella che si riferisce ai nomi delle sostanze (formule chimiche) e quella che schematizza le trasformazioni chimiche (le equazioni chimiche). E' un linguaggio convenzionale indubbiamente, ma non nello stesso senso del linguaggio ordinario. E' un linguaggio che è in grado di fornire informazioni qualitative e quantitative della composizione molecolare delle sostanze e delle trasformazioni chimiche. Ma è pedagogicamente assurdo pensare di dare significato al linguaggio chimico con un insegnamento che fin dall'inizio si sviluppi solo attraverso nomi, formule ed equazioni. Sono queste conoscenze molto sofisticate, che possono avere significato solo se gli studenti hanno avuto, nell'arco di molti anni, a partire dalla scuola elementare fino al biennio, una lunga dimestichezza con sostanze, trasformazioni chimiche e le leggi macroscopiche della chimica classica.

Per esempio, il bilanciamento delle ossido-riduzioni ha rappresentato nella evoluzione della chimica una grande conquista intellettuale e costituisce da molto tempo uno strumento fondamentale nell'analisi quantitativa delle sostanze ossidanti e riducenti. Come è generalmente insegnato, costituisce, invece, un'attività da settimana enigmistica che rappresenta un incubo per gli studenti, fin quando non abbiano memorizzato e non si siano sufficientemente addestrati alle regole del gioco.

Il prototipo dell'insegnamento usuale della chimica è l'insegnamento grammaticale come poteva essere praticato 50 anni fa, insegnamento che era basato sull'illusione che l'acquisizione e la padronanza del linguaggio potesse avvenire soltanto attraverso lo studio di principi, regole e definizioni. Se la via grammaticalista alla comprensione e alla padronanza linguistica è stata da molto tempo mostrata assurda pedagogicamente, a maggior ragione dovrebbe apparire chiaramente l'assurdità per le conoscenze chimiche, che sono, come tutte le conoscenze scientifiche, generalmente molto più complesse sul piano psicologico del linguaggio comune, essendo esse spesso epistemologicamente in discontinuità con la razionalità della vita quotidiana.

Fenomenologia chimica e l'educazione scientifica nella scuola di base

Le problematiche chimiche sono strettamente interrelate alla storia dell'umanità. L'invenzione o la scoperta di nuove tecniche ha portato spesso all'affinamento di fondamentali conoscenze fenomenologiche di tipo chimico. E' sufficiente ricordare nell'antichità il perfezionamento delle tecniche della combustione e la possibilità di ricavare materiali artificiali così importanti nell'evoluzione della civiltà umana, quali i metalli, i leganti, i materiali laterizi, ecc.; il fuoco è stato per tempi immemorabili il principale strumento utilizzato dall'uomo per realizzare trasformazioni chimiche. Durante il Medioevo furono scoperte delle sostanze, gli acidi minerali, che, grazie alla loro capacità aggressiva (erano, cioè capaci di sciogliere solidi insolubili in acqua), furono in grado di permettere lo sviluppo di un nuovo campo di fenomeni chimici.

A metà del Settecento la chimica era da tempo caratterizzata da un rigoglioso sviluppo quantitativo: le sostanze naturali ed artificiali conosciute aumentavano costantemente e diventava sempre più problematico classificarle anche a causa dei limiti intrinseci al linguaggio chimico allora utilizzato che attribuiva i nomi alle sostanze sulla base di molteplici criteri casuali, quali il loro colore, sapore, utilizzo, luogo di provenienza, nome dello scopritore, ecc..

Nella prima metà del Settecento, come d'altra parte era successo nei secoli precedenti, vennero, inoltre, elaborate molteplici teorie che si proponevano di fornire delle spiegazioni e di individuare delle connessioni e delle regolarità in questo mare buio di fenomeni empirici; ma lo sviluppo scientifico successivo della chimica mostrò che i principi fondamentali delle trasformazioni chimiche potevano essere rintracciati con un approccio sostanzialmente opposto a quello allora prevalente, con un'impostazione cioè di tipo quantitativo.

“Ma che grande scoperta” potrebbe dire il riduzionista di turno: “l'approccio quantitativo è ciò che caratterizza il pensiero scientifico”. Ora, a parte la discutibilità di un'affermazione generale di questo tipo, essa è comunque facile a dirsi, ma tutt'altro che a farsi. Anche per la chimica il passaggio alla maturità si realizzò con la sua matematizzazione, con l'individuazione di principi quantitativi; ma prima delle geniali scoperte di Lavoisier quale era la situazione? Tutti i grandi chimici del Settecento si erano convinti che la forza della chimica risiedesse nella sua metodologia specifica, di tipo sperimentale e qualitativo e non nell'utilizzo di metodologie fisiche, cioè quantitative. Erano stati, infatti, effettuati molti tentativi di conferire alla chimica un assetto quantitativo simile a quello della meccanica newtoniana, con l'introduzione, ad esempio

del principio delle affinità chimiche mutuato dal principio della gravitazione universale³⁷. Tuttavia, tutte queste concezioni banalmente riduzioniste non avevano minimamente contribuito allo sviluppo della chimica.

Le trasformazioni chimiche erano state fino a Lavoisier osservate e studiate nelle loro regolarità di tipo qualitativo e già questo aspetto aveva costituito un'impresa titanica. Non è un caso che la chimica sia stata associata fino ad alcuni secoli fa con la magia. Le trasformazioni chimiche sono in un certo senso delle magie: sono, infatti quei fenomeni i cui da determinate sostanze se ne ottengono altre che non hanno nessuna proprietà in comune con quelle iniziali. Lo sviluppo della chimica, nella così detta fase prescientifica rappresenta un fenomeno prodigioso; durante il Seicento ed il Settecento si riuscì ad individuare, a partire dal caos della materia indistinta presente nella vita quotidiana, un numero immenso di materiali e di sostanze naturali od artificiali, e successivamente classi di sostanze e relazioni tra esse. E non è che non fossero state osservate anche delle regolarità quantitative da parte degli artigiani quando utilizzavano determinate trasformazioni chimiche per fabbricare materiali o sostanze utili per i vari scopi.

La situazione psicologica del non esperto di fronte al mondo dei materiali, delle sostanze e delle trasformazioni non è molto diversa da quella dello scienziato o dell'artigiano di 4-5 secoli fa. *Se si vogliono costruire delle conoscenze che siano in consonanza con le strutture cognitive dello studente e con il suo mondo percettivo occorre dedicare gli anni della scuola di base a realizzare questo passaggio graduale dalla materia indistinta della percezione quotidiana all'individuazione di alcuni materiali, di alcune sostanze e di alcune classi di sostanze*³⁸.

Le leggi macroscopiche della chimica

Perché le leggi macroscopiche della chimica (e più in generale la chimica classica) devono costituire la parte principale dell'insegnamento della chimica nell'area comune della scuola secondaria superiore? Innanzitutto, perché costituiscono *conoscenze fondamentali della chimica*. L'oblio, negli ultimi decenni, di questo aspetto costituisce una delle manifestazioni più eclatanti del pensiero riduzionista. In secondo luogo, *perché realizzano un passaggio graduale* (che permette di comprendere il significato dei concetti) *dalle concezioni di senso comune agli aspetti più formalizzati della chimica*. Questa seconda risposta è determinante sul piano pedagogico-

³⁷ A. Thackray, *Atomi e forze. Studio sulla teoria della materia in Newton*, Il Mulino, Bologna, 1981.

³⁸ L. Barsantini, C. Fiorentini, *L'insegnamento delle scienze verso un curricolo verticale. Volume primo: i fenomeni chimico-fisici*, IRSSAE Abruzzo, L'Aquila, 2001.

didattico. L'importanza disciplinare di determinate problematiche costituisce, infatti, una condizione necessaria, ma tutt'altro che sufficiente per il loro inserimento nel curriculum.

A differenza dei concetti operativi di tipo fenomenologico, i concetti e le leggi macroscopiche della chimica non sono, tuttavia, in continuità con il senso comune: molte di esse sono in stretto rapporto con esperimenti che è possibile (che è didatticamente indispensabile) effettuare, ma non sono leggi di tipo induttivo; sono, invece, il frutto di atti creativi di grandi scienziati che hanno saputo inventare delle ipotesi che andavano molto oltre i dati dell'osservazione. Le leggi fondamentali della chimica non possono essere insegnate conseguentemente con l'impostazione operativa proposta per la scuola di base. Si cadrebbe in questo modo nell'impostazione angusta dell'attivismo e dello sperimentalismo ingenuo. Le osservazioni sperimentali non possono più, di per sé, essere la base per la realizzazione della concettualizzazione. La loro funzione è ora radicalmente diversa: continuano ad essere necessarie per l'ampliamento del riferimento empirico e quindi della conoscenza di sostanze e trasformazioni; sono, inoltre, indispensabili per esplicitare le percezioni e le conoscenze degli studenti nei confronti di fenomenologie che storicamente hanno svolto un ruolo determinante nella creazione di concetti e leggi fondamentali.

Nuovi concetti o leggi hanno permesso di risolvere problemi teorici e/o sperimentali, hanno costituito la risposta a contraddizioni esistenti nelle teorie precedenti, sono state in grado di individuare regolarità impreviste, e fornire spiegazioni e di prevedere nuovi fenomeni. Tutti questi aspetti contribuiscono a costituire il significato dei concetti, significato che non risiede nella loro definizione formale, acontestuale, tranne che per gli specialisti che sono in grado di dominare cognitivamente l'organizzazione assiomatica di una disciplina.

Affinché lo studente possa comprendere concetti e leggi della chimica classica è quindi necessario ricostruire il contesto problematico, teorico e sperimentale, in cui essi sono stati ipotizzati e poi definiti formalmente.

La formalizzazione, a questo punto diventa fondamentale. Se già nella scuola di base l'importanza delle osservazioni sperimentali risiede nel costituire la base della concettualizzazione di fenomenologie elementari – cioè, della formalizzazione possibile – a maggior ragione nella scuola secondaria superiore la formalizzazione non può che avere un'importanza centrale, in relazione, ovviamente, ai quei concetti fondamentali della chimica di cui è stato possibile comprendere il significato problematico e contestuale. La nostra critica radicale non è quindi rivolta alle definizioni, al linguaggio rigoroso ed alla necessità didattica di esercizi di addestramento, ma ad un insegnamento che, invece di considerare questi come punti di arrivo, si fonda solo su di essi, presumendo che lo studente possa comprenderli in quanto gli

viene mostrato come ricavarli logicamente all'interno dell'organizzazione deduttiva della chimica.

I concetti fondamentali della chimica

Durante il Settecento nasce lo stato gassoso, che si popola man mano di gas che hanno la caratteristica di essere chimicamente attivi. Questo concetto costituisce un'altra rottura epistemologica, perché il prototipo dei gas, l'aria, era nel Sei-Settecento concepito come chimicamente non attivo. La chimica delle arie rappresentò la condizione necessaria, seppur non sufficiente, della scoperta geniale dei principi della chimica, avvenuta negli ultimi decenni del Settecento per opera di Lavoisier.

Anche i bambini di 7-8 anni sanno che l'aria è fatta di ossigeno ed azoto. E probabilmente risponderebbero, osservando la candela che si spegne sotto una campana di vetro, con il pregiudizio del consumo di ossigeno. Inoltre precocemente viene loro insegnato che dalla combustione e dalla respirazione si produce anidride carbonica ed acqua, e che per fortuna esiste nelle piante la fotosintesi clorofilliana che utilizza lo scarto della combustione, l'anidride carbonica, per produrre ciò che permette loro di vivere e di svilupparsi.

Questi sono indubbiamente fenomeni di grandissima rilevanza, ed è una preoccupazione educativa condivisibile quella che essi siano conosciuti da tutti gli studenti. Quindi, a maggior ragione, essi non devono essere trattati come barzellette: non sono, infatti, fenomeni che possano essere direttamente osservati; ma possono essere compresi soltanto all'interno di quadri teorici troppo complessi per la scuola di base.

Provate con studenti di 14-15 anni, ed anche con studenti di 18-19 anni, iscritti nelle varie facoltà universitarie, a verificare, effettuando esperimenti di combustione, che cosa pensano che succeda. Molteplici ricerche testimoniano anche in questo caso l'inconsistenza dell'insegnamento scientifico formale prematuro e la persistenza di concezioni prelavoisieriane: le combustioni sarebbero quelle trasformazioni in cui certi materiali, consumandosi, producono luce calore. Le combustioni avverrebbero quindi con sparizione di materia e con consistente diminuzione di peso. Anche in questo caso, *l'apparenza viene presa come realtà*; essa è infatti un'apparenza percettiva solida, consistente, reale, e comunque più resistente delle chiacchiere nozionistiche scolastiche³⁹.

Anche qui ci troviamo di fronte ad un significativo ostacolo epistemologico; non può essere aggirato con il solito approccio astratto, definitorio, frettoloso; può essere risolto con un salto nella comprensione, se viene affrontato nel biennio (e non prima) mettendo in relazione le concezioni

spontanee degli studenti con il contesto problematico che ha permesso il passaggio dalle concezioni prescientifiche a quelle attualmente accreditate. Vi è un anno, il 1772, che viene indicato come spartiacque tra la chimica prescientifica e quella scientifica: in quell'anno Lavoisier fece la scoperta rivoluzionaria che durante la combustione si ha la combinazione con l'aria. Sentiamo le sue parole: "Sono circa otto giorni che ho scoperto che lo zolfo, bruciando, invece di perdere peso ne acquista al contrario (...) Questo aumento di peso deriva da una quantità prodigiosa di aria che si fissa durante la combustione (...) Questa scoperta m'ha fatto pensare che ciò che osservavo nella combustione dello zolfo e del fosforo avrebbe potuto aver luogo con tutte le sostanze che acquistano peso con la combustione e la calcinazione".

La rivoluzione chimica lavoisieriana costituiva una confutazione totale della teoria del flogisto, teoria che durante il Settecento era stata considerata una grande teoria scientifica, capace di spiegare molti fenomeni chimici. Questa teoria aveva, per esempio, compreso che combustione e calcinazione dei metalli sono due fenomeni chimici simili nonostante la diversa apparenza fenomenica, ma era arrivata a questa importante conoscenza sulla base di una spiegazione sbagliata: la teoria del flogisto affermava, infatti, che in ambedue i fenomeni vi era, invece che combinazione con aria, emissione di flogisto. Furono necessari 20-30 anni per l'affermazione della teoria di Lavoisier. Molti chimici affermati non l'accettarono mai; è emblematico il caso del geniale chimico sperimentalista Priestley che fino alla morte considerò vera la teoria del flogisto, nonostante che fosse stato lui ad effettuare per primo molti esperimenti che vennero poi utilizzati da Lavoisier per confermare ed approfondire la sua teoria.

I chimici ormai affermati dovevano effettuare una specie di conversione: erano in gioco due visioni del mondo totalmente opposte. Sono rivelatrici di queste immani difficoltà epistemologiche e psicologiche le seguenti considerazioni che il grande chimico francese Macquer effettuò nella seconda edizione del suo "Dizionario di Chimica" nel 1778: "Se ciò fosse vero, verrebbe distrutta tutta la teoria del flogisto, cioè del fuoco combinato. A tal idea non ha però almeno finora acconsentito questo valente fisico (Lavoisier), che sopra un punto così delicato vuole ancora sospendere il suo giudizio. Questa cautela è certamente lodevole, essendo appunto quella che forma il carattere d'un vero chimico, di cui fregiati non sono que' fisici, i quali non conoscendo il pregio di questa bella scienza, si credono capaci di realmente rovesciarla, e colla scorta d'un sol fatto, che essi suppongono bastantemente comprovato, presumono di oscurare in un momento tutto lo splendore di una delle più grandi teorie, a cui siasi innalzato il genio della chimica: d'una teoria appoggiata ad un numero sorprendente di convincenti esperienze, alla forza delle quali non possono resistere neppure i talenti più illuminati".

³⁹ G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, La Nuova Italia, Firenze, 1995.

Nei quindici anni successivi al 1772, Lavoisier si dedicò ad un programma di ricerca finalizzato alla conferma ed all'approfondimento di queste ipotesi, avendo egli fin dall'inizio intuito la loro portata rivoluzionaria. Il chimico francese, reinterpretando completamente, alla luce della sua ipotesi, le scoperte sperimentali di molti altri chimici (quali Priestley), elaborò i principi basilari della scienza chimica.

Innanzitutto il *Principio di conservazione del peso*. Lavoisier aveva intuito che doveva operare in sistemi chimici chiusi, in recipienti ermeticamente chiusi, che impedissero il passaggio dell'aria. Operare in questo modo era completamente innaturale, anche per il rischio di esplosione nel riscaldamento ad alte temperature di recipienti di vetro chiusi. Vediamo le considerazioni di Lavoisier: "Ecco il ragionamento che mi sono fatto a me stesso: se l'aumento di peso dei metalli calcinati nei recipienti chiusi, è dovuto, come pensava Boyle, all'addizione delle sostanze della fiamma e del fuoco che penetra attraverso i pori del vetro e che si combina con il metallo, ne consegue che; se dopo aver introdotto una quantità conosciuta di metallo in un recipiente di vetro, ed averlo chiuso ermeticamente, se ne determina esattamente il peso; se si procede poi alla calcinazione per mezzo fuoco dei carboni, come ha fatto Boyle; ed infine se si ripesa lo stesso recipiente dopo la calcinazione prima di aprirlo, il suo peso deve trovarsi aumentato di tutta la quantità della sostanza del fuoco che si è introdotta durante la calcinazione. Se, al contrario, mi sono detto ancora, l'aumento di peso della calce metallica non è dovuta alla sostanza del fuoco né di alcuna sostanza esterna, ma alla fissazione di una porzione di aria contenuta nel volume del recipiente, il recipiente non dovrà essere più pesante dopo la calcinazione di prima, dovrà solamente trovarsi in parte vuoto di aria, e non è che al momento in cui la porzione di aria mancante sarà entrata che l'aumento di peso del recipiente dovrà aver luogo".

E' con esperimenti di questo tipo, condotti in recipienti chiusi, che Lavoisier fu in grado di iniziare a confermare due principi basilari della chimica:

- 1) il principio della conservazione del peso nelle trasformazioni chimiche;
- 2) la combustione e la calcinazione dei metalli sono due fenomeni che avvengono con combinazione con l'aria.

Dopo queste scoperte, il peso, che fino ad allora era stato considerato una proprietà della materia di scarsa rilevanza teorica per la chimica, diventò la variabile più importante della **scienza chimica**, e la bilancia divenne lo strumento fondamentale.

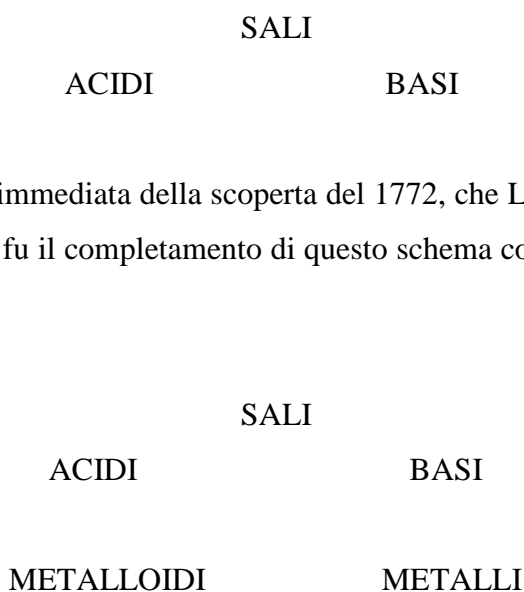
Anche per la chimica, come già era avvenuto nel secolo precedente per la fisica, il superamento della fase prescientifica si realizzò con l'individuazione di concetti quantitativi, sulla base di un principio quantitativo, il principio di conservazione del peso. Anche per la chimica, la matematizzazione costituì il passaggio decisivo, ma costituì una matematizzazione

deludente per chi era ormai abituato ai sublimi vertici matematici raggiunti dalla fisica con la meccanica razionale. Questa disciplina aveva, infatti, raggiunto una tale perfezione da essere considerata fino ad Enstein la vera descrizione del mondo. Aveva conseguentemente assunto il ruolo di modello della razionalità scientifica, rispetto al quale giudicare le altre scienze. Il riduzionismo imperante non ha permesso per molto tempo di cogliere la sublime semplicità del linguaggio matematico della **chimica classica**, che è costituito essenzialmente dalle quattro operazioni e dalle proporzioni, e che ha, a nostro parere, implicazioni pedagogiche di grande rilevanza.

La chimica, come è usualmente insegnata, è troppo complessa, in quanto presuppone delle solide basi di tipo fisico, ed indubbiamente, se il ruolo formativo della chimica coincidesse con le teorie chimiche del Novecento, nella disputa che dura da decenni tra chimici e fisici sullo spazio da attribuire all'una e all'altra nella scuola secondaria superiore, non ci potrebbero essere dubbi (a parte le richieste di tipo corporativo) nell'assegnare alla fisica una collocazione centrale, ed alla chimica un ruolo secondario negli anni terminali della scuola secondaria superiore.

Se invece la chimica viene concepita nel suo significato epistemologico e culturale, la situazione risulta radicalmente diversa, in quanto il formalismo e la matematizzazione della chimica classica sono di un livello più che elementare rispetto a quelli della fisica.

A parere di Lavoisier, la teoria più importante che era stata ereditata dai chimici delle generazioni precedenti era la gerarchia compositiva esistente tra sali, acidi e basi



I metalli e sostanze, quali lo zolfo, il fosforo ed il carbonio risultarono più semplici degli acidi, delle basi e dei sali.

Anche l'elementarità dei metalli non è naturale, come non è naturale la maggior parte dei metalli. Fin dall'antichità, essi hanno svolto un ruolo importante nella vita degli uomini, fin da quando fu inventata la tecnica che permetteva di ricavarli in fornaci potenti, a partire da minerali opportuni e carbone. I metalli erano il risultato della combinazione di determinati minerali e carbone; apparentemente risultavano meno semplici dei minerali da cui erano ricavati. Lavoisier fu in grado con la teoria dell'ossigeno di mostrare il contrario, che ad esempio, le calci metalliche erano dei composti di metallo ed ossigeno.

Trascorsero, tuttavia, circa altri dieci anni, prima che essi assurgessero al ruolo di elementi chimici. Lavoisier dovette, infatti, sia cercare di confermare il più possibile che essi non fossero ulteriormente decomponibili, che, come abbiamo già detto, fare i conti con la teoria dei quattro elementi. Soltanto nel 1787, formulò l'ipotesi moderna di elemento chimico, nei seguenti termini: "Se al contrario attribuiamo al nome di elementi o di principi delle sostanze l'idea del termine ultimo al quale arriva l'analisi, tutte le sostanze che non siamo stati capaci ancora di decomporre in alcun modo, sono per noi degli elementi".

Il concetto di elemento chimico diventava da idea metafisica un concetto operativo: doveva essere considerato elemento ciò che resisteva all'analisi chimica, ed, in teoria non avrebbe potuto mai esserci la certezza che si fosse individuata la tecnica di analisi sufficiente. Lavoisier introdusse nella sua Tavola degli elementi chimici anche delle sostanze (delle calci metalliche), che sarebbero poi state decomposte successivamente, benché egli pensasse che non fossero elementi.

Il concetto di sostanza e di elemento non sono concetti autoevidenti, naturali, che possano essere assunti nell'insegnamento come assiomi. Sono essi che vanno compresi a partire dalle conoscenze di senso comune degli studenti, connesse a fenomenologie chimiche elementari. E' necessario un lungo percorso nella scuola di base e nel biennio, con un'impostazione prima di tipo fenomenologico-operativo, e poi di carattere problematico e contestuale. Nella scuola di base si può arrivare fino al concetto di sostanza, che va poi ulteriormente approfondito; la distinzione, invece, tra elemento e composto va costruita nel biennio, perché con questi concetti si realizza un salto di tipo epistemologico: sono, infatti, concetti non di tipo osservativo ma squisitamente teorico, la cui comprensione si ha né con esperimenti ingenui, né con definizioni.

I concetti di elemento e composto sono strettamente interrelati ad altri concetti chimici fondamentali, quali quelli di bagno pneumatico, gas, sistema chimico chiuso, principio di conservazione del peso, ruolo dell'ossigeno, e gerarchia compositiva del mondo inorganico. I concetti di elemento e composto possono essere compresi soltanto se si ricostruisce la rete delle relazioni che li connette a tutti questi altri concetti. Questi si incontrano prima o poi anche

nell'insegnamento usuale della chimica, ma in modo atomistico e acontestuale. Invece la comprensione degli uni e degli altri è solidale, e risiede nelle relazioni che li connettono. Un concetto potrà poi avere per lo studente significato di carattere generale solo perché sarà stato messo in condizioni di ricavarlo da situazioni specifiche, caratterizzate da contesti specifici.

Il significato degli strumenti scientifici nell'apprendimento

Parlando della scienza moderna si sottolinea giustamente il ruolo fondamentale degli strumenti scientifici: essi hanno permesso infatti di osservare la natura in un modo molto più efficace, facendo vedere cose inimmaginabili alla percezione diretta. Gli esempi che vengono sempre fatti sono quelli del microscopio e del cannocchiale; tuttavia se si analizza lo sviluppo di una qualsiasi disciplina scientifica, ed in particolare della chimica e della fisica, si osserva costantemente uno sviluppo parallelo di nuovi concetti e di nuovi strumenti. Si può effettivamente comprendere, come afferma Geymonat, il nesso inscindibile di teoria e tecnica: cioè, da una parte, sono gli strumenti che permettono di conferire realtà alle più ingegnose congetture scientifiche, e dall'altra sono le teorie e le ipotesi che spesso guidano l'invenzione ed il perfezionamento degli strumenti.

Il laboratorio scientifico è raramente utilizzato, e quando è impiegato sistematicamente negli istituti tecnici e professionali, spesso lo è in modo cognitivamente poco significativo: si riduce essenzialmente all'addestramento a determinate tecniche di analisi.

Tra scienza e tecnica vi è, nel caso della chimica, un tale stretto rapporto che nell'insegnamento tradizionale il laboratorio chimico diventa addestramento a tecniche chimiche, all'utilizzo di specifici strumenti. Vi è, tuttavia, una totale separazione: da una parte, le conoscenze chimiche, la teoria, dall'altra, la pratica, la tecnica intesa come attività di routine, standardizzata.

In un insegnamento centrato sulla comprensione, teorie e concetti, tecniche e strumenti devono essere, invece, riaggregati, perché il significato si realizza circolarmente dagli uni agli altri. In questo modo anche nell'apprendimento, gli strumenti scientifici possono svolgere il ruolo cognitivo che loro compete, quello di strumenti indispensabili per la costruzione e la comprensione di molti concetti scientifici.

Già Bacone aveva compreso la fondamentale importanza cognitiva degli strumenti: "Non la sola mano, o l'intelletto in sé possono sussistere; tutto si compie mediante gli strumenti e i mezzi ausiliari". Vygotskij e Bruner hanno ripreso tutto ciò nella prospettiva della loro psicologia culturale e sociale.

La chimica degli Atomi, delle Molecole e delle Formule

“Dai tempi di Dalton, cioè da due secoli, la chimica fa uso di due livelli di descrizione della materia: il livello *macroscopico*, o fenomenologico, delle proprietà e delle trasformazioni delle sostanze, e il livello *microscopico* (o più esattamente submicroscopico) degli atomi e delle molecole. I chimici si sono da tempo adattati a questa duplicità di livelli, sviluppando una *forma mentis* che consente loro di passare con naturalezza da un livello all'altro pur tenendoli ben *distinti*. Ma ciò non è affatto ovvio per gli studenti che si avvicinano per la prima volta alla chimica, specialmente se sono molto giovani...” soprattutto quando “l'insegnamento è fortemente sbilanciato a favore del livello microscopico come avviene molto spesso nelle scuole italiane ...”. Si ravvede quindi la “la necessità che, nell'insegnamento della chimica, i due livelli, con le rispettive terminologie, siano tenuti ben distinti fin dal principio. *Distinti ma non separati*, perché i due livelli sono strettamente connessi: è proprio il comportamento degli atomi e delle strutture che essi formano (molecole, reticoli cristallini e altri tipi di aggregati) che ci permette di spiegare le proprietà e le trasformazioni che osserviamo su scala macroscopica. Ma i concetti e le teorie che fanno da ponte tra i due livelli sono spesso all'origine di ostacoli all'apprendimento, anche nei casi più semplici.”⁴⁰

Mantenere distinti ma non separati i due livelli, far comprendere il significato e l'utilità, dal punto di vista chimico, della rappresentazione microscopica della materia (atomi, molecole, formule) rappresentano le difficoltà maggiori dell'insegnamento/apprendimento della chimica.

Per le ragioni esposte precedentemente, per l'alto grado di astrazione e di immaginazione che comporta il pensare la materia, le sue proprietà e le sue trasformazioni in termini molecolari, riteniamo che sia fondamentale procedere alla definizione ed alla costruzione del concetto di molecola (formula) in modo molto graduale e il più elementare possibile, per approssimazioni successive, seguendo quello che è stato lo sviluppo storico della chimica daltoniana. Per cui non ci si dovrà preoccupare eccessivamente per le formule che oggi consideriamo “sbagliate” e che inevitabilmente verranno proposte all'inizio del percorso, mentre particolare attenzione dovrà essere posta ai procedimenti, e a quelle strategie che fin dagli inizi dell'800 vennero messe in campo per raccordare molecole, formule e sostanze.

Non avendo un modo diretto, sperimentale per determinare il numero di atomi in una molecola si dovette procedere per ipotesi, accettando quella più semplice (principio della massima

⁴⁰ P.Mirone, *Perché la chimica è difficile*, CnS

semplicità), che fosse in accordo con le osservazioni sperimentali. Spesso questa prima ipotesi dovette essere poi rivista, alla luce di altre ipotesi ed altri esperimenti, tutt'altro che intuitivi. Pensiamo, ad esempio, alla formula dell'acqua, che per lunghi anni rimase HO, per la maggior parte dei chimici. In altri casi più fortunati, invece, tali proposte ricevettero altre conferme, come CO₂ e CO, formule ipotizzate da Dalton rispettivamente per l'anidride carbonica e l'ossido di carbonio. Nonostante questo modo di procedere, che, inizialmente, fu molto incerto, il chimico della seconda metà dell'800, pensava già in termini di formule di struttura, gruppi funzionali, stereoisomeri ... Tutta questa parte della chimica strutturale venne costruita senza ricorrere all'interpretazione elettronica della valenza, ma cercando di organizzare in un quadro coerente i risultati dell'analisi e della sintesi attraverso l'invenzione di formule di struttura. "La loro costruzione può essere considerata la caratteristica più tipica della chimica, ciò che la distingue più marcatamente dalle altre scienze sperimentali. Immaginare la chimica senza formule è impossibile, ed altrettanto impossibile costruire una didattica della chimica senza il loro ausilio. Resta da decidere quale uso sia appropriato farne in un corso con intenti culturali e non professionali ... Ritengo culturalmente importante illustrare i fondamenti logici che sono alla base della elaborazione delle formule, riducendo al minimo indispensabile l'apprendimento mnemonico e ponendo invece l'enfasi sugli aspetti di carattere generale... È per questa ragione che mi sembra utile spiegarne in termini elementari il procedimento costruttivo ed il rapporto con le osservazioni sperimentali in modo da separare ed evidenziare gli aspetti osservazionali, tecnici, teorici che ogni formula contiene."⁴¹

Il significato della formula nella chimica contemporanea, impregnata dei significati propri della meccanica quantistica, è, non solo nettamente diverso, ma ad un livello di astrattezza e complessità molto più elevato rispetto a quello della chimica classica. Il riconoscimento di questa storicità, dal punto di vista didattico, è fondamentale, perché se viene a mancare il livello più concreto, proprio del canone interpretativo classico, ben difficilmente il ragazzo riuscirà a collegare il livello macro con quello micro e a comprendere il significato delle formule. Queste andranno a far parte di quel mondo di astrusità e insensatezze di cui troppo spesso la scienza viene ammantata. Invece "maggior attenzione dovrebbe essere data agli aspetti culturali, storici e filosofici della Scienza e della Tecnologia nel tentativo di presentarle come *attività umane*. Questa maggiore attenzione può favorire l'interesse per queste discipline da parte di quegli studenti che tentano di attribuire '*significato*' ai loro studi piuttosto che acquisire informazioni sui fatti e spiegazioni preconfezionate e rigide dei fenomeni naturali."⁴²

⁴¹ L.Paoloni, *Nuova didattica della chimica*, Bracciodieta Editore.

⁴² Svein Sjøberg (University of Oslo), "Science and Technology Education – Current Changes and Possible Solutions", in Jenkins, Edgar (ed. 2002), *Innovations in Science and Technology Education*, Vol. VIII Paris, UNESCO.

Introdurre i ragazzi al mondo delle molecole e delle formule ha senso ed è formativo nella misura in cui si affrontano in maniera consapevole i passaggi cruciali che hanno condotto l'uomo a pensare, ad esempio, l'acqua in termini di H_2O . Come viene giustificata questa formula? Che utilità ha? Quali nessi ci sono con l'acqua che ci circonda? Che cosa c'è dietro questo strano modo di rappresentare le sostanze? Sono solo alcune delle questioni che devono essere affrontate in un percorso che sia culturalmente significativo e, in quanto tale, in grado di condurre il discente alla *comprensione* dei fondamenti della chimica moderna.

Due lettere e un numero stanno ad esprimere tutta la chimica dei Lavoisier, dei Proust, dei Dalton, dei Berzelius, degli Avogadro, dei Cannizzaro, senza questa chimica, parlare di formule e molecole non ha senso e soprattutto non può averlo per una persona che si avvicina ad un mondo che è completamente al di fuori della percezione ed è così misterioso e così lontano dall'esperienza quotidiana, che rischia di essere un mondo a se.

D'altro canto, non possiamo nemmeno banalizzare conquiste del pensiero umano così importanti e mirabili, presentando le molecole come dei dati di fatto, come un qualcosa di quasi ovvio. È vero che ormai si hanno a disposizione strumenti per "vedere" le molecole, ma questi sono stati costruiti quando già le molecole erano state inventate e "viste" dall'intelletto umano. Senza questo straordinario atto creativo nessuno strumento avrebbe portato l'uomo a pensare la materia in termini molecolari.

Il mondo delle molecole, agli occhi del ragazzo, non solo deve essere comprensibile e plausibile, ma deve dimostrarsi anche *utile*. A cosa serve conoscere le formule delle sostanze, i pesi atomici, i pesi molecolari? Qual è il riscontro più immediato, più concreto e accessibile per uno studente alle prime armi?

La stechiometria, senza far ricorso alla mole, è il terreno su cui poter sperimentare l'efficacia del modello atomico/molecolare ed affinare la comprensione del concetto di peso atomico/molecolare. I semplici calcoli stechiometrici richiedono conoscenze matematiche elementari e i relativi riscontri sperimentali *non* necessitano di attrezzature e di abilità particolarmente raffinate. Se il ragazzo non viene messo nella condizione di verificare ben presto quanto sia *anche* utile e produttivo pensare le sostanze e le loro trasformazioni in termini molecolari, difficilmente riuscirà a sostenere il peso di un percorso che lo vede impegnato per un lungo periodo su questioni e modelli dei quali non riesce a vedere l'applicazione pratica, concreta né, tanto meno, a cogliere la rilevanza che hanno assunto nella chimica moderna.