
L'INNOVAZIONE DELL'INSEGNAMENTO SCIENTIFICO NELLA SCUOLA SECONDARIA SUPERIORE: IL CASO DELLA CHIMICA

CARLO FIORENTINI

Presidente CIDI, Firenze

1. Introduzione

Nella scuola secondaria superiore riteniamo sia necessario il passaggio da un approccio integrato predisciplinare, caratteristico della scuola primaria e della scuola secondaria di primo grado, ad un'impostazione disciplinare, ma non ovviamente nel significato usuale del termine. Il curriculum della biologia, della chimica, della fisica, ecc., presente generalmente nella scuola secondaria superiore, costituisce infatti un tentativo di bignamizzazione di primo e secondo livello (a seconda che ci si riferisca al triennio o al biennio) del curriculum universitario di queste discipline nella loro versione base, quella che viene affrontata nei primi esami.

Quando i manuali di riferimento sono fatti bene, ci troviamo effettivamente di fronte ad esempi di struttura specialistica della disciplina. In un manuale spesso di un migliaio di pagine sono riassunti in un modo formalmente ineccepibile e gerarchicamente organizzato a partire dalle teorie e dai principi di carattere più generale, i campi fondamentali della chimica, della fisica, della biologia, l'enciclopedia organizzata delle loro conoscenze fondamentali. All'interno di ciascun corso universitario, essi verranno poi effettivamente compresi grazie all'effettuazione di molti esami di carattere più specialistico, molti dei quali corrispondono ad uno o ad alcuni capitoli del manuale «generale». Questi manuali generali hanno, tuttavia, indubbiamente un significato, sia nella formazione di specialisti, che di per sé, come strumenti di consultazione per specialisti, di fronte alla sempre più accentuata difficoltà di comunicazione tra loro. Averli, invece, proposti come modello della formazione disciplinare nella scuola secondaria superiore costituisce un esempio emblematico dell'esito fallimentare della non comprensione della differenza radicale tra specialismo e cultura scolastica.

A differenza della scuola di base, nella scuola secondaria l'obiettivo fondamentale è indubbiamente la comprensione di alcune grandi teorie scientifiche, quali ad esempio i principi della meccanica, la teoria dell'evoluzione, le leggi classiche della chimica, ecc.. Ma queste, o altre significative teorie possono essere comprese non con un'impostazione assiomatica, enciclopedica ed addestrativa. Per comprenderle sono necessari tempi molto lunghi, un'attenzione al linguaggio, al rigore scientifico, agli ostacoli epistemologici. Possono essere comprese soltanto all'interno di un'impostazione problematica, quale può essere garantita dalla loro contestualizzazione. Per un non esperto, il significato

di un concetto non è ricavabile 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.

È fondamentale l'utilizzo della riflessione storico-epistemologica, e non ovviamente per sostituire uno specialismo con altri specialismi, per sostituire ad esempio la fisica con la storia o la filosofia della fisica. L'obiettivo è quello di far comprendere alcuni concetti e teorie fondamentali della scienza moderna, che sono state inventate da grandi scienziati, da geni dell'umanità, con procedimenti non induttivi. Essi sono stati capaci di formulare congetture che, pur essendo in contraddizione con i dati percettivi e con le teorie fino ad allora consolidate, hanno permesso contemporaneamente di risolvere problemi ed anomalie presenti nelle vecchie teorie e di rendere possibile lo sviluppo delle conoscenze scientifiche. Senza la ricostruzione didattica di questo contesto problematico, i concetti e le teorie sono per lo studente senza significato, rimangono delle mere definizioni verbali, senza vita.

I concetti non escono bell'e pronti come Minerva dalla testa di Zeus. I concetti scientifici più significativi, che si sviluppano a volte in modo lineare, ma il più delle volte attraverso rotture e scarti, sono caratterizzati da un complesso di significati che non possono essere colti dall'accostamento delle varie definizioni. Generalmente, la formulazione più matura di un concetto potrà essere compresa per approssimazioni successive a partire da definizioni meno complesse dal punto di vista della formalizzazione. Considerazioni simili si possono effettuare da un versante non epistemologico, ma psicopedagogico.

Infine, anche nella scuola secondaria, il problema della quantità dei contenuti, o meglio della loro estensione, diventa fondamentale. Va ribaltata la logica usuale, per cui il modello specialistico di curricolo, indicato precedentemente, viene più o meno bignamizzato a seconda delle ore e degli anni a disposizione. Il quadro orario di ciascuna disciplina nel corso degli anni della scuola secondaria deve costituire il punto di partenza delle scelte curriculari. Esse dovranno essere più o meno radicali, in relazione all'estensione dei contenuti, se una data disciplina sarà presente in un indirizzo soltanto un paio di anni, due ore alla settimana, o tutti e cinque gli anni. Prendendo come esempio l'insegnamento della chimica, nel primo caso potranno essere affrontate, a nostro parere, soltanto le teorie della chimica classica, come mostreremo nella seconda parte di questo contributo.

2. La fondamentale importanza della scelta dei contenuti

La scelta dei contenuti adatti a ciascun grado di scolarità è, a nostro parere, il maggior nodo irrisolto dell'insegnamento scientifico, anzi esso non è mai stato nella sostanza seriamente affrontato. Quali le cause?

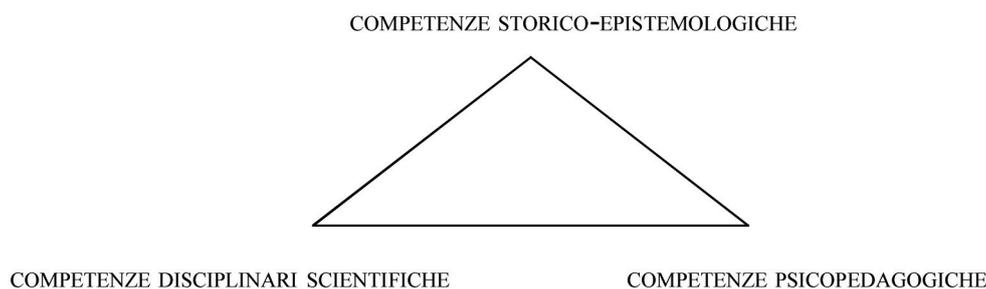
Esse sono molteplici e sono sostanzialmente riconducibili alla logica specialistica che ha sempre improntato l'insegnamento scientifico in Italia. Tuttavia occorre riconoscere che anche l'attivismo ha delle responsabilità. In relazione a questo ultimo aspetto ci

sembrano interessanti le riflessioni critiche rivolte a Dewey da Lydia Tornatore, la pedagoga che negli ultimi decenni ha maggiormente contribuito ad evidenziare i molti aspetti ancora oggi illuminanti del pensiero deweyano:

Malgrado l'opposizione deweyana ad ogni separazione tra forma e contenuto, per questa via la separazione riaffiora, e si pongono le basi di un nuovo formalismo, per il quale la razionalità si identifica con il controllo che trova espressione nel metodo. Di qui il rischio di quella valorizzazione esclusiva del metodo affiancata da scarsa attenzione ai contenuti che ha spesso caratterizzato la pedagogia della scienza di ispirazione deweyana, costituendone uno dei più appariscenti limiti [10].

Vi è, tuttavia, un'immane difficoltà: la scelta di contenuti adeguati è, a nostro parere, possibile soltanto quando si realizza la collaborazione delle competenze specialistiche di tre settori totalmente separati nella tradizione accademica italiana, *quello disciplinare specifico (biologia, chimica, fisica, ecc.), quello psicopedagogico e quello storico-epistemologico*. Indubbiamente in altri paesi la situazione è migliore che in Italia; vi è una maggiore consapevolezza dell'importanza delle didattiche disciplinari: è sufficiente ricordare tutti i progetti di insegnamento scientifico che sono stati finanziati sia negli USA che in Inghilterra durante gli anni sessanta, dopo la conferenza di Wood Hole. Tuttavia anche la maggior parte di questi progetti, che hanno coinvolto scienziati, pedagogisti e psicologi, hanno avuto il grande limite della mancanza di significative competenze storico epistemologiche.

La pedagogia e la psicologia dell'apprendimento sono indispensabili per impostare in modo adeguato l'insegnamento scientifico, ma pensiamo che da sole non siano in grado di farlo: senza la mediazione della riflessione storico-epistemologica, rischiano di rimanere due mondi incomunicabili il mondo delle esigenze educative e dell'apprendimento da una parte, e quello della scienza, con i suoi sofisticati formalismi, dall'altra.



Soltanto la riflessione storico-epistemologica può permettere effettivamente la realizzazione di esigenze psicopedagogiche fondamentali, quali l'individuazione, per ciascuna disciplina, dei concetti basilari, dei metodi caratteristici, dei prerequisiti – non arbitrari o semplicemente linguistici – dei diversi concetti, della gerarchia concettuale, ecc., cioè di proposte di curricolo verticale che non siano più la riproposizione di ciò che si verifica oggi nella maggioranza delle situazioni, in cui il curricolo verticale consiste nella ripetizione ossessiva, ma insignificante sul piano cognitivo, del manuale

universitario, nei vari cicli scolastici, con l'unica variante della semplificazione e della banalizzazione.

3. Il dogmatismo dell'insegnamento scientifico manualistico

Watkins osserva che il libro di Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, contiene nella scelta del linguaggio molti suggerimenti, alcuni espliciti, altri impliciti, di un significativo parallelismo tra la scienza, in special modo la scienza normale, e la teologia. Kuhn scrive dell'educazione scientifica come di un «processo di iniziazione professionale» che «prepara lo studente a diventare membro della particolare comunità scientifica» [11, p. 102].

Kuhn aveva infatti sottolineato il carattere essenzialmente dogmatico dell'insegnamento scientifico, indicandone contemporaneamente l'aspetto funzionale al proseguimento della ricerca normale: «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. Ma per la ricerca all'interno della scienza normale, per risolvere rompicapo all'interno della tradizione definita dai manuali, lo scienziato viene preparato quasi alla perfezione» [3, p. 199].

Questa formazione universitaria è stata in Italia negli ultimi decenni ancora più assurda in quanto la maggior parte dei laureati hanno avuto come sbocco l'insegnamento nella scuola secondaria di primo e secondo grado senza nessun altro tipo di formazione iniziale. Si tratta di un insegnamento basato sulla retorica delle conclusioni. «Essa viene infatti insegnata quasi come un'assoluta *retorica delle conclusioni*, nella quale le temporanee e provvisorie costruzioni del sapere scientifico sono rappresentate come verità di fatto, letteralmente irrevocabili. Per quanto riguarda la fase iniziale della ricerca, la scoperta dei principi direttivi, l'espedito più comune è l'assoluto silenzio» [8, p. 50].

I risultati di questo modo di intendere l'insegnamento scientifico, se sono insignificanti sul terreno specifico della formazione scientifica delle giovani generazioni – come testimoniano le innumerevoli ricerche sulle concezioni degli studenti di cui abbiamo già parlato in precedenti puntate –, sono addirittura nefasti su un piano formativo generale:

Si pensi ad uno studente che sia stato convinto che la scienza consiste di verità immutabili. Cinque o dieci anni dopo aver conseguito la laurea, scopre che molte nozioni che gli furono insegnate come vere non lo sono più, né vengono più accettate come sapere, perché sono state superate e rimpiazzate da altre formule. Impreparato a questi cambiamenti, inconsapevole delle operazioni di ricerca che li producono, l'ex studente, ora cittadino elettore, non può fare altro che dubitare della attendibilità del suo libro di testo e del suo insegnante. In un gran numero di casi, il dubbio, che ha colpito il libro di testo e l'insegnante, viene ad investire la stessa scienza e la stessa competenza professionale in generale. L'ex studente non ha altra via che abbandonarsi ad un relativismo e a un cinismo pericolosi» [8, p. 75].

Questa concezione dell'insegnamento scientifico poteva avere una giustificazione culturale durante l'Ottocento, finché fu generalmente condivisa una visione della scienza di tipo dogmatico. Da molto tempo ormai il clima culturale è diverso; da alcuni decenni il confronto avviene tra posizioni simili a quelle, da una parte, di Popper e di Geymonat, e dall'altra di Kuhn e di Rorty. Sono concezioni diverse, ma che hanno, tuttavia, in comune la concezione della scienza come un sistema in continua trasformazione, dove è fondamentale comprendere la relatività dei concetti scientifici, e quindi la loro genesi e la loro evoluzione, dove è fondamentale il confronto tra teorie diverse.

Infine, la metodologia prevalente dell'insegnamento scientifico può avere un'altra motivazione, di matrice idealistica, cioè, la visione della scienza non come cultura, ma come armamentario utile per la società, per lo sviluppo economico, e tanto più utile quanto più aggiornato è sul piano tecnico: in questa prospettiva non importa che ciò che si studia abbia significato per lo studente; ciò che interessa è soltanto l'utilizzo strumentale delle nozioni apprese.

4. Un esempio: 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:

- | | | |
|--|---|-----------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. fenomeni chimici (concetti operativi) 2. concetti, leggi e teorie macroscopiche (chimica classica) 3. modelli e teorie microscopiche (chimica classica e chimica del Novecento) | } | LINGUAGGIO
CHIMICO |
|--|---|-----------------------|

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, 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 due 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'empiria, 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 in 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 tre 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). È un linguaggio convenzionale indubbiamente, ma non nello stesso senso del linguaggio ordinario. È 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.

5. 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. È 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 universale [9]. 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 vuole 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, cfr. [1].

6. 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-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 teorico 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, a contestuale, 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.

7. I concetti fondamentali della chimica

Durante il Settecento nasce lo studio dello 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 spenge sotto una campana di vetro, con il pre-giudizio 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 scolastiche, cfr. [2].

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:

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» [5, p. 103].

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 [7, p. 132].

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 [6, pp. 106-107].

È 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 Einstein 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.

La matematizzazione delle leggi classiche della chimica è sostanzialmente riconducibile alle 4 operazioni ed alle proporzioni.

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

SALI

ACIDI

BASI

Conseguenza immediata della scoperta del 1772, che Lavoisier fu in grado di confermare negli anni successivi, fu il completamento di questo schema compositiva con l'aggiunta dei metalli e dei metalloidi:

SALI

ACIDI

BASI

METALLOIDI

METALLI

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 sono naturali 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» [4, p. XVII].

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. È 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 composizionale 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.

8. 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 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.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barsantini L., Fiorentini C., *L'insegnamento delle scienze verso un curricolo verticale. Volume primo: i fenomeni chimico-fisici*, IRSSAE Abruzzo, L'Aquila 2001.
- [2] Cavallini G., *La formazione dei concetti scientifici*, La Nuova Italia, Firenze 1995.
- [3] Kuhn T., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969.
- [4] Lavoisier A., *Traité élémentaire de Chimie, Tome Premier*, Imprimerie impériale, Parigi 1870.
- [5] Lavoisier A., Détails historiques sur la cause de l'augmentation de poids qu'acquièrent les substances métalliques, lorsqu'on les chauffe leur exposition à l'air, in *Oeuvres de Lavoisier*, tomo II, Imprimerie impériale, Parigi 1862.
- [6] Lavoisier A., *Mémoire sur la calcination de l'étain dans les vaisseaux fermés*, in *Oeuvres de Lavoisier*, tomo II, Imprimerie impériale, Parigi 1862.
- [7] Macquer P., *Dictionnaire de chimie*, Didot, Parigi 1778.
- [8] Schwab J. J., Branwein P. F., *L'insegnamento della scienza*, Armando, Roma 1965.
- [9] Thackray A., *Atomi e forze. Studio sulla teoria della materia in Newton*, Il Mulino, Bologna 1981.
- [10] Tornatore L., *Educazione e indagine in Dewey*, in Vasoli C., Tornatore L., Maragliano R., Mosconi G., Lumbelli L., *Educazione alla ricerca e trasmissione del sapere*, Loescher, Torino 1981.
- [11] Watkins J., *Contro la scienza normale*, in *Critica e crescita della conoscenza*, a cura di I. Lakatos e A. Musgrave A., Milano, Feltrinelli 1976.