

La fondamentale importanza  
dell'epistemologia,  
della storia della chimica e  
della psicologia dell'educazione  
per rinnovare  
la didattica della chimica

Carlo Fiorentini

CIDI Firenze  
<https://cidifi.it/>

Sono un insegnante di chimica che dopo sette-otto anni di insegnamento, quarant'anni fa, ha iniziato a porsi il problema di **rinnovare profondamente** l'insegnamento della **chimica**.

Compresi, nell'arco di dieci anni, che questa era un'impresa complessa, multidisciplinare, che le **competenze necessarie**, oltre a quelle disciplinari, erano quelle di carattere **storico-epistemologico, psicologico, pedagogico e didattico**.

Durante gli anni 80, nell'ambito della Divisione Didattica della Società Chimica Italiana, sono venute a conoscenza di alcuni tentativi di innovazione che si basavano su **teorie pedagogiche di ispirazione comportamentista**, elaborate prevalentemente negli USA, quali quelle di Bloom, ecc. Mi sembrarono sostanzialmente inconsistenti. Queste teorie pedagogiche furono proposte come il punto di riferimento più importante per circa venti anni da **molti pedagogisti** e dal **Ministero della Pubblica Istruzione**.

**Ho iniziato allora ad avere molte perplessità delle indicazioni didattiche della Pedagogia generale.**

Emblematica di un'impostazione didatticistica è la **progettazione a ritroso di Wiggins e McTighe** (*Fare Progettazione*), fatta propria da molti esperti di didattica generale negli ultimi vent'anni.

Ci troviamo di fronte a una proposta contraddittoria, costellata da **riflessioni preziose**, affiancate, **tuttavia**, da **proposte didattiche inefficaci**, consistenti, nella maggior parte dei casi, in una farraginoso e decontestualizzata strumentazione didattica, costituita da domande, fasi, filtri, mappe, schemi, schede, griglie, rubriche, indicatori, descrittori, ecc.

(Wiggins G., McTighe J., *Fare progettazione. La "teoria" di un processo didattico per la comprensione significativa*, Roma, LAS, 2004)

Alla fine degli anni Ottanta lessi un libro importante di **Rosalind Driver**, esperta di didattica della fisica.

Driver prende nettamente le distanze da **impostazioni pedagogiche di tipo induttivistico**, «basate sull'assunto che **tutta la conoscenza scientifica** derivi dalle **esperienze sensoriali**» (ivi, p. 74). Queste concezioni avrebbero avuto un'ampia diffusione negli USA ed in Inghilterra grazie al rinforzo ricevuto «**da concezioni puerocentriche dell'educazione, come quelle formulate da personalità quali Froebel, Dewey e Piaget**» (p. 74).

(R. Driver, *L'allievo come scienziato*, Zanichelli, Bologna, 1988)

D'altra parte, Driver prende anche le distanze dalla **concezione strutturalista di Bruner** quale è stata prospettata nel libro *Dopo Dewey. Il processo di apprendimento nelle due culture* (Woods Hole, 1959). Ricorda che a partire dal 1960 sono stati sviluppati molti programmi di scienze non più basati «sulla scienza come catalogo di fatti», **ma sulla *Struttura delle discipline*, sui concetti fondamentali delle discipline scientifiche, «quali la teoria atomica in chimica o la teoria cinetica in fisica»** (ivi, p. 8). Vi era sia un'esigenza di fornire un'idea più significativa della scienza che la convinzione pedagogica di una maggiore capacità di *transfert* di questi concetti. **Driver non concorda, come molti altri psicologi e pedagogisti, con questa ipotesi pedagogica:**

«Uno dei problemi che sorgono di fronte a questo argomento è che i collegamenti che sono evidenti per uno scienziato possono risultare tutt'altro che ovvi per un alunno. Dopo tutto, ciò che conta nell'apprendimento è la coerenza quale è percepita da quest'ultimo. [...]

***Se la teoria o il formalismo presentati agli alunni non vengono appresi in una maniera significativa, vengono presto dimenticati*** in quanto conoscenze utili e non vi si fa più ricorso in futuro: **gli alunni stessi ritornano alle loro intuizioni o strutture precedenti»** (ivi, pp. 8, 78).

Venivano dalla Driver liquidati dal punto di vista didattico tre di quelli che poi diventeranno per me i punti di riferimento principali, **Dewey, Piaget e Bruner.**

Il quarto riferimento, quello più importante, **Vygotskij**, definito dal filosofo **Toulmin**, quarant'anni fa, il **Mozart della psicologia**, non viene nominato perché probabilmente non era ancora al centro dell'attenzione, come avvenne negli anni successivi.

## La psicologia culturale bruneriana

Alla fine degli anni Ottanta, Bruner inizia a sviluppare una concezione psicologica legata alla **dimensione narrativa e culturale**, dove è fondamentale il debito nei confronti di Vygotskij.

«Vygotskij non concepì mai la mente come manifestazione di un calcolo logico. Contiene processi per dotare l'esperienza di significato. **L'attribuzione di significato secondo Vygotskij non necessita solo del linguaggio ma anche della conoscenza del contesto culturale in cui il linguaggio è usato».**

(J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, 1997, p. 27)

Nell'evoluzione dell'uomo lo spartiacque venne superato **«quando la cultura divenne il fattore principale nel dare forma alla mente di coloro che vivono nell'ambito della sua influenza. La cultura, come prodotto della storia più che della natura, divenne allora il mondo a cui adattarsi, ma anche l'insieme degli strumenti per farlo»** (Bruner, *La ricerca del significato*, 1992, p. 28). Queste affermazioni, ci ricorda Bruner, che sono banali per l'antropologia, **non lo sono per nulla per la psicologia**. E' paradossale che considerazioni simili fossero state effettuate circa sessanta anni prima da Vygotskij.

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». 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.**».

(J. Bruner, 1997, pp. 9, 192).

**Negli anni Ottanta iniziai una ricerca che non è più terminata.**  
Una prima scoperta fondamentale fu *Come pensiamo* di Dewey.

Qui trovai dei **principi** che da allora considero **assiomi** del  
**processo di insegnamento/apprendimento.**

**“Tentare di dare un significato tramite la parola soltanto, senza una qualsiasi relazione con la cosa, significa privare la parola di ogni significazione intellegibile [...] In primo luogo essi (i simboli) rappresentano per una persona questi significati solo quando essa ha avuto esperienza di una qualche situazione rispetto a cui questi significati sono effettivamente rilevanti».**

(Dewey, J. *Come Pensiamo*, La Nuova Italia, Firenze, 1961, p. 333)

«Presa alla lettera, la massima “insegna le cose, non le parole” o “insegna cose prima che parole” sarebbe la negazione stessa dell'educazione; ridurrebbe la vita mentale a semplici adattamenti fisici e sensoriali. **Imparare, in senso rigoroso, non significa imparare cose, ma i *significati* delle cose, e questo processo implica l'uso di segni o del linguaggio nel suo senso generico.** Parimenti, l'avversione contro i simboli di alcuni riformatori dell'educazione, se spinta agli estremi, implicherebbe la distruzione della **vita intellettuale, dato che questa vive, si muove, ed ha la sua stessa possibilità di esistenza in quei processi di definizione, astrazione, generalizzazione e classificazione che solo i simboli rendono possibili** (ivi, p. 332)».

Come mai Driver aveva espresso un giudizio così negativo?

**“Ci sono difatti delle esperienze diseducative [...] E ancora, le esperienze possono essere così sconnesse tra loro che, per quanto ognuna sia gradevole o anche stimolante in sé, esse non costituiscono un tutto ben saldo [...] Fino a che l’esperienza non è concepita in modo che quello che ne risulta sia un piano, essa è campata in aria [...] Che l’educazione tradizionale fosse una ‘routine’ in cui i piani e i programmi erano trasmessi dal passato, non implica affatto che l’educazione progressiva debba essere un’improvvisazione”.**

(Dewey J., *Esperienza e educazione*, La Nuova Italia, Firenze, 1974, p. 11)

**L'insegnamento usuale di tipo manualistico è assurdo dal punto di vista epistemologico, psicologico ed educativo, ma ha il grande pregio di avere una struttura che lo specialista è in grado di comprendere e che gli dà l'illusione che anche gli studenti possano comprendere.**

Quindi l'insegnamento nella scuola dai 3 ai 16 anni, **basato sugli esperimenti, deve avere, per essere significativo per gli studenti, un'organizzazione, non può essere «improvvisazione».**

**Inoltre e, innanzitutto, in disaccordo con la Driver, ma tenendo conto delle sue critiche, gli esperimenti sono di grandissima importanza didattica sempre, ma a condizione di utilizzarli in modo non ingenuo.**

**Come ci hanno fatto comprendere i grandi epistemologici (Koirè, Popper, Kuhn, ecc.), gli esperimenti sono sempre carichi di teoria. Essi sono didatticamente molto importanti quando è chiaro quali sono le conoscenze che gli studenti debbano già avere per potere dagli esperimenti ricavare nuovi stimoli per la concettualizzazione.**

**A mio parere, in disaccordo con la Driver,  
ma tenendo conto delle sue critiche, gli  
esperimenti sono di grandissima importanza  
didattica sempre, ma a condizione di utilizzarli in  
modo non ingenuo.**

**Come ci hanno fatto comprendere i grandi  
epistemologici (Koirè, Popper, Kuhn, ecc.), gli  
esperimenti sono sempre carichi di teoria.  
Essi sono didatticamente molto importanti  
quando è chiaro quali sono le conoscenze che gli  
studenti debbano già avere per potere dagli  
esperimenti ricavare nuovi stimoli per la  
concettualizzazione.**

In via ipotetica, è indispensabile, quindi, avere una proposta di curriculum verticale, occorre, cioè, individuare gli esperimenti più adatti alle varie età, avendo un'idea di quali conoscenze è possibile concettualizzare prima, perché più povere di teoria, e che possono essere costruite dagli studenti, a partire dalle osservazioni, astruendo, definendo, classificando e generalizzando.

**Piaget** rimane, a mio parere, ancora oggi uno dei più importanti punti di riferimento a livello pedagogico-didattico; i lumi provengono soprattutto dal Piaget che non si è occupato direttamente né di pedagogia né di didattica, derivano, cioè, dagli aspetti **centrali della sua concezione dello sviluppo dell'intelligenza nel bambino.**

Nella concezione piagetiana dello sviluppo svolgono un ruolo centrale i due concetti di **assimilazione e accomodamento.**

Anche nel campo della didattica non vi è libro che non faccia loro riferimento; abbiamo tuttavia la sensazione che **non vengano sufficientemente evidenziate le fondamentali implicazioni didattiche.**

Noi pensiamo invece che questi concetti piagetiani siano ancora oggi di grandissima rilevanza pedagogico-didattica: pongono al *centro del processo il soggetto dell'apprendimento.*

*Affermano che vi è sempre una relazione stringente tra nuove acquisizioni e struttura cognitiva:*

le nuove conoscenze sono, cioè, assimilate in relazione alla struttura cognitiva del soggetto, e la struttura cognitiva, a sua volta, è in continua trasformazione (accomodamento) in funzione dell'assimilazione di aspetti nuovi della realtà.

L'organismo è in grado di assimilare soltanto ciò che le assimilazioni precedenti lo hanno predisposto ad assimilare.

**Cerchiamo di esemplificare questo assunto con le discipline scientifiche.** Esse sono presentate sia nei manuali della scuola secondaria superiore che in quelli della scuola di base con le stesse modalità, con la stessa organizzazione dei manuali universitari.

**La struttura delle discipline scientifiche è, cioè, oggi di tipo specialistico** (vedi Bruner, 1960);

**è adatta a menti già formate:** risponde infatti all'esigenza di sistematizzazione, alla luce delle acquisizioni teoriche del Novecento, delle conoscenze fondamentali di un determinato ambito di problematiche.

I concetti piagetiani di assimilazione-accomodamento postulano, invece, a nostro parere, un'organizzazione delle discipline scientifiche opposta a quella usuale, dove la **struttura specialistica non sia più il punto di partenza ma quello di arrivo del processo educativo alla fine della scuola secondaria di secondo grado.**

Per elaborare quindi **ipotesi appropriate di curricolo verticale** in ambito **chimico** le **conoscenze disciplinari** rappresentano indubbiamente un **prerequisito indispensabile**, anche se di per sé sono **cieche di fronte alle problematiche educative**, alle **difficoltà di comprensione di chi apprende**.

Invece, gli **strumenti culturali principali**, che permettono di individuare nella **miniera delle discipline** le **conoscenze fondamentali** da insegnare alle varie età, sono altri, quali: **l'epistemologia, la storia e la didattica della chimica**, da una parte, e la **psicologia dell'educazione**, dall'altra.

**Gli esperimenti, inoltre, sono una risorsa fondamentale per la concettualizzazione, non di per sé.**

Ciò che dei **fenomeni** deve principalmente **interessare**, al di là del primo momento, quello dello stupore, non è il loro aspetto estetico, meraviglioso, **ma la loro logica fenomenologica, la rete di connessioni che può essere costruita.**

Ciò non è nella immediatezza dell'esperienza, **ma nella riflessione sull'esperienza,** che può essere realizzata soltanto con la **mediazione del linguaggio.**

**È soltanto il linguaggio, ed in particolare il linguaggio scritto, che permette l'effettuazione di quelle attività cognitive – descrivere, rappresentare, individuare differenze e somiglianze, individuare relazioni e connessioni causali, classificare e definire – che possono produrre consapevolezza delle relazioni significative che caratterizzano una determinata fenomenologia, che permettono quindi di concettualizzarla.**

**Le considerazioni epistemologiche e  
psicologiche precedenti sono connesse anche  
al problema del metodo**

nel primo ciclo e nel biennio della sec. superiore.

**A mio parere, occorrerebbe** individuare modelli  
didattici che permettano effettivamente ad **ogni  
studente di essere attivo nella costruzione della  
conoscenza** all'interno della **dimensione sociale**,  
nel contesto della classe.

L'insegnamento rischia di essere inefficace se non si risponde in modo adeguato **anche** alla domanda:

**come può ogni alunno essere attivo nel processo di concettualizzazione?**

Rifacendomi a Vygotskij, a partire da osservazioni, da situazioni problematiche, la **verbalizzazione scritta individuale** è la fase **fondamentale, in particolare per *gli alunni con difficoltà***. Ma ciò si realizza **se l'insegnante è di *sostegno*** ai loro tentativi di verbalizzazione, ai **loro tentativi di concettualizzazione.**

**La fase della verbalizzazione scritta individuale dovrebbe essere intesa come il momento dell'ipotesi, del tentativo da parte dell'alunno di fornire risposte, dell'errore concepito come fonte di apprendimento.**

**Si tratta di un passaggio imprescindibile in cui ciascun alunno è impegnato a comprendere, a cercare di esprimere ciò che ha capito.**

**La discussione collettiva,**  
dopo la formulazione delle ipotesi  
scritte individuali,  
**è il momento della costruzione sociale**  
della conoscenza ed è, **tuttavia,**  
**la fase più difficile.**

L'individuazione, nei momenti più impegnativi dei percorsi, di una modalità **più adeguata** per la **discussione**, consistente nel ***raccogliere tutte le verbalizzazioni scritte individuali.***

In primo luogo, la raccolta delle verbalizzazioni di tutti gli alunni, ci fa capire quanto essi abbiano **effettivamente compreso, o gli ostacoli epistemologici** che non permettono loro di comprendere. Spesso, le loro risposte, anche quando non sono corrette, sono molto interessanti, sono rivelatrici delle loro **immagini mentali**.

In secondo luogo, *questa modalità di discussione collettiva* si è dimostrata particolarmente **significativa didatticamente** perché per gli alunni diventa effettivamente possibile arrivare a una **concettualizzazione condivisa** avendo a disposizione una tabella contenente le loro risposte, dopo che l'insegnante le ha **in modo opportuno organizzate.**

**La didattica laboratoriale ha inoltre una propria specificità nella scuola secondaria superiore rispetto alla scuola del primo ciclo.**

Nella scuola secondaria superiore, seppure con gradualità, si passa da un approccio fenomenologico – caratteristico della scuola dell'obbligo – ad un'impostazione più teorica, che tenga conto del fatto che **le metodologie prevalenti dello sviluppo scientifico sono di tipo ipotetico-deduttivo**; di conseguenza, quando si ha che fare con le grandi teorie scientifiche, dalla rivoluzione galileiana in poi, la **contestualizzazione storica diventa una scelta metodologica fondamentale**, condotta sempre insieme alle **attività di sperimentazione e osservazione**, per far cogliere agli studenti il **significato dei principali concetti scientifici**.

**Ad esempio, La Chimica Classica non può essere insegnata in modo induttivo, nonostante l'importanza che continuano ad avere gli esperimenti. È 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 una proposta molto innovativa, che era stata progettata in Inghilterra durante gli anni sessanta. Venne tradotta dalla Zanichelli all'inizio degli anni settanta (Nuffield Chimica. Livello I, 1973; Nuffield Chimica. Livello II, 1974), ma sostanzialmente non fu mai utilizzata in modo stabile da nessun insegnante.

Per quali motivi? Noi pensiamo che il motivo fondamentale 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.**

D'altra parte, **Il significato dei concetti e delle teorie scientifiche** non può essere compreso se essi vengono presentati fin dall'inizio in modo assiomatico, come **nozioni morte e come termini tecnici** (Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*). **I concetti più importanti vanno fatti rivivere come risposta a problemi tecnici e/o scientifici, come ipotesi ardite che sono state spesso molto al di là dell'osservazione e in contraddizione con le teorie fino ad allora considerate vere («narrazione bruneriana»).**

**Le leggi della chimica classica, ad esempio, sono il frutto di invenzioni di geni dell'umanità, quali Lavoisier e Dalton che hanno saputo creare ipotesi che, pur essendo contraddittorie con le concezioni chimiche universalmente accettate, sono state in grado di spiegare e sistematizzare le conoscenze fenomenologiche allora conosciute, creando così i paradigmi della Chimica Classica.**

«**Probabilmente il tipo più raro e profondo di genio** avutosi nelle scienze fisiche è quello mostrato da coloro che come, **Newton, Lavoisier e Einstein** enunciarono una teoria **completamente nuova** che dava potenzialmente ordine a un gran numero di fenomeni naturali».

(Kuhn, *La funzione della misura nella scienza fisica moderna*, in *La tensione essenziale*, Einaudi, 1985, p. 203).

**La grandiosità e la sublime semplicità della Chimica Classica generalmente non sono avvertite. Vengono percepite come la preistoria delle vera chimica.**

Una scienza che si basa sulle **quattro operazioni e sulle proporzioni** viene quasi sentita come una scienza minore a confronto con la **Fisica Classica.**

È ancora molto diffusa evidentemente una **visione riduzionista.**

Sviluppiamo infine qualche considerazione epistemologica su due problematiche fondamentali della chimica:

**il principio di conservazione del peso  
(della massa),**

**la legge delle proporzioni multiple.**

**Il *principio di conservazione del peso (massa)* è evidentemente un *principio fondamentale della chimica*.** Esso asserisce che durante le trasformazioni chimiche il peso totale non cambia, che, cioè, la somma del peso dei reagenti è uguale alla somma del peso dei prodotti di reazione.

***Apparentemente esso è un principio banale, autoevidente.***

Dato in modo assiomatico, aproblematico, definitorio, come fanno generalmente i manuali, è **privo di *significato***.

**Occorre farlo rivivere per comprenderne il significato.**

**Prima di Lavoisier, il peso e la bilancia non avevano nessuna importanza teorica in chimica.**

«È curioso: duemila anni prima **Pitagora** aveva proclamato che il numero è l'essenza stessa delle cose, e la **Bibbia** aveva insegnato che Dio aveva fondato il mondo sopra “il numero, il peso, la misura”. Tutti l'hanno ripetuto, nessuno l'ha creduto. **Per lo meno, nessuno fino a Galileo l'ha preso sul serio.** Nessuno ha mai tentato di determinare questi numeri, questi pesi, queste misure. **Nessuno si è provato a contare, pesare, misurare. O più esattamente, nessuno ha mai cercato di superare l'uso pratico del numero, del peso, della misura nell'imprecisione della vita quotidiana** — contare i mesi e le bestie, misurare le distanze e i campi, pesare l'oro e il grano — **per farne un elemento del sapere preciso».**

*(Koyré, Dal mondo del pressappoco al mondo, della precisione, Einaudi, 1967, pp. 97-98).*

**Vi è un anno, il 1772, che è indicato come spartiacque tra la chimica prescientifica e quella scientifica:**

in quell'anno Lavoisier formulò l'**ipotesi 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 mi 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».**

(Lavoisier, Oeuvres de Lavoisier, Paris, 1862, p. 103).

É 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”.

**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”.**

(Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli, Milano, 1997).

**Lavoisier constatò** con esperimenti, come quello della **calcinazione dello stagno**, che il peso del **recipiente chiuso** prima della calcinazione è uguale al peso del recipiente chiuso dopo la calcinazione.

Poté contemporaneamente:

- 1. verificare che l'aumento in peso dello stagno corrispondeva alla diminuzione in peso dell'aria contenuta nel recipiente;**
- 2. confermare il principio di conservazione del peso (massa).**

Lavoisier, nei quindici anni successivi, fu in grado di elaborare i **principi fondamentali** della **chimica classica macroscopica**:  
il concetto di **elemento chimico**,  
la **gerarchia compositiva** delle principali sostanze inorganiche,  
la **ristrutturazione della nomenclatura**,  
il passaggio dall'analisi qualitativa **all'analisi quantitativa**,  
la **composizione elementare** delle sostanze ...

Dopo Lavoisier, **la determinazione della composizione quantitativa** delle sostanze diventò uno dei compiti più importanti della chimica.

In questo modo si realizzò **la matematizzazione della scienza chimica.**

Il **peso delle sostanze**, mentre in precedenza era stato considerato una variabile irrilevante per la comprensione dei fenomeni chimici, diventava **la grandezza fondamentale della chimica.**

**T. Kuhn dedica un suo importante saggio alla critica del paradigma riduzionista dominante che identifica la scienza con la misura:**

«Tuttavia lo sviluppo scientifico è un'impresa molto più complessa, dove metodologie di ricerca qualitativa svolgono un ruolo fondamentale: è **conseguentemente sbagliato identificare esperimento con misura**».

In questo saggio uno degli esempi che prende in considerazione è la **legge delle proporzioni multiple**.

*(Kuhn, La funzione della misura nella scienza fisica moderna, in La tensione essenziale, Einaudi, 1985, 230).*

L'esempio di John Dalton è ugualmente molto indicativo. Egli è il padre della **chimica atomistica**; per primo ebbe l'idea di utilizzare **misure quantitative esistenti sulla composizione costante delle sostanze (legge di Proust)** per elaborare una **teoria atomica il cui principio fondamentale è quello della correlazione tra formula molecolare e sostanza.**

Ben presto comprese che **conferme efficaci** alla sua concezione sarebbero state ricavate da **quegli elementi che erano in grado di produrre più composti**. Se la sua teoria atomica fosse stata giusta, per esempio, nel caso dei tre ossidi di azoto, se il peso dell'azoto nei tre campioni fosse stato lo stesso, i pesi dell'ossigeno dei tre ossidi di azoto dovevano essere in una relazione tra loro secondo numeri interi.

**La generalizzazione di questo principio anche agli altri elementi produceva la legge delle proporzioni multiple (legge di Dalton).**

«All'inizio del XIX secolo, i chimici non sapevano come effettuare analisi quantitative che ponessero in evidenza le proporzioni multiple. **Nel 1850 avevano imparato, ma solo facendosi guidare dalla teoria di Dalton. Conoscendo quale risultato si dovessero attendere dalle analisi chimiche, i chimici furono in grado di escogitare tecniche che permettessero di ottenerli.** Di conseguenza i manuali di chimica possono ora affermare che le analisi quantitative confermano l'atomismo di Dalton e dimenticano che, storicamente, le tecniche analitiche importanti sono basate sulla stessa teoria che, si dice, esse confermino. Prima che la teoria di Dalton fosse enunciata le misure non davano gli stessi risultati». (Kuhn, ivi, p. 212).

Molti chimici, nonostante pensassero, fino alla fine dell'Ottocento, che **gli atomi** non esistevano, li utilizzarono come lo strumento **fondamentale teorico** che avevano a disposizione per sviluppare le conoscenze chimiche e iniziare a **comprendere qualcosa nell'immenso caos della chimica organica**, il cui impetuoso sviluppo è impensabile senza l'utilizzo delle **formule molecolari** prima, e delle **formule di struttura** poi.

Dall'inizio degli anni trenta dell'Ottocento, molti chimici iniziarono ad attribuire alle sostanze organiche **anche tentativi di formule di struttura**, poiché iniziavano a pensare, sulla base delle **formule molecolari** e delle **correlazioni chimiche**, che la spiegazione delle caratteristiche delle sostanze e delle trasformazioni chimiche sarebbe stata possibile soltanto con delle **ipotesi relative alla disposizione degli atomi nelle molecole**.

In conclusione, un **insegnamento significativo nella scuola secondaria superiore** può essere effettuato realizzando un dosaggio sapiente, che tenga conto delle risorse di ciascuna istituzione scolastica, di **sperimentazioni e osservazioni, di contestualizzazione storica, di utilizzo di filmati e simulazioni**, ecc, di un insieme, cioè, di **strumenti metodologici** che permettano di concepire le **classi come luoghi di costruzione del sapere scientifico**, all'interno dei quali i manuali scolastici siano assunti come uno, e non il più importante, dei sussidi didattici.