

La didattica della chimica: dal modello macroscopico al modello microscopico

Francesco Giuliano
francesco.giulianolt@libero.it

Riassunto

La nascita della scienza chimica non deriva dall'ipotesi atomica-molecolare, la cui comprensione si mostra complessa e richiede capacità di astrazione e solide basi di tipo fisico; essa scaturisce, invece, da tutte le tecniche e i procedimenti utilizzati per l'estrazione e la purificazione delle sostanze, a cui ha dato un ampio contributo l'alchimia, e dalla ricerca e dalla determinazione delle loro proprietà fisiche e chimiche. Per questi motivi, a livello di scuola media e di biennio della scuola secondaria di secondo grado, bisogna caratterizzare la didattica della chimica seguendo il percorso storico-epistemologico con una metodologia che passi gradualmente dall'ambito macroscopico a quello microscopico.

Abstract

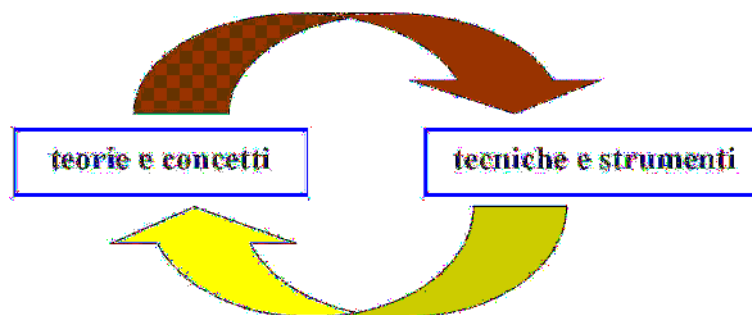
The birth of the chemical science doesn't derive from the atomic-molecular hypothesis, whose understanding appears complex and asks for ability of abstraction and mathematical knowledge. Instead, chemistry comes from all the techniques and the procedures used for the extraction and the purification of the substances, to which the alchemy has given a relevant contribution, and from the search and the determination of their physical and chemical properties. Because of that, the teaching of chemistry in middle school and in the first two years of the secondary school of according to degree, must follow the historical and epistemological development, with a methodology that gradually passes from the macroscopic level to that microscopical.

1. Premessa

Prima ancora che fossero avanzate le teorie atomico-molecolari, gli alchimisti avevano affinato le tecniche per l'estrazione di alcuni metalli dai rispettivi minerali o per la produzione di alcune sostanze. Essi, infatti, avevano fondato i loro esperimenti e la manipolazione dei corpi materiali basandosi sui quattro *principi* aristotelici e sui tentativi del *provare e riprovare*. In effetti, con il loro lavoro, gli alchimisti avevano posto le premesse per lo sviluppo della chimica. Molti composti, infatti, erano stati ottenuti con procedimenti empirici. Anche alcuni metalli erano stati isolati con metodi codificati nel tempo, ancor prima della scoperta delle leggi fondamentali della chimica. Oggi, nell'introdurre la chimica a livello scolastico, si fa un salto nel tempo di diversi millenni trascurando tutto il lavoro fatto dagli alchimisti. Allo studente vengono presentate le ipotesi atomico-molecolari utilizzando modelli microscopici, trasmettendogli così il convincimento che la chimica sia una scienza molto difficile, teorica e che esige forti basi di fisica e di matematica. Si trascura in questo modo il suo giusto valore sperimentale, epistemologico e culturale. Si cancellano così i millenni di ricerca forsennata condotta dagli alchimisti, senza tener conto che se non ci fosse stata l'alchimia non ci sarebbe la chimica, se non ci fosse stata l'alchimia sarebbero venuti meno alcuni de "gli strumenti [che] permettono di conferire realtà alle più ingegnose congetture scientifiche" [1].

Limitarsi, tuttavia, soltanto alle tecniche alchemiche provocherebbe un disorientamento in chi vuol comprendere una scienza dai connotati particolari che induce, chi non è addetto ai lavori, a interpretazioni inafferrabili, irrazionali e magiche. Lo stesso errore si commetterebbe presentando la chimica soltanto dal punto di vista teorico, tralasciando cioè i suoi riferimenti generatori. Bisogna ritenere che alcune intuizioni degli alchimisti (tra cui quella di trasformare un *metallo vile* in oro, oppure quella secondo la quale i metalli costituivano una scala gerarchica in cui l'oro, metallo perfetto, occupava l'apice, o ancora quella secondo la quale i *metalli vili* erano soggetti a continue trasformazioni) siano state sperimentate e dimostrate corrette dalla ricerca scientifica.

La speculazione filosofica, d'altra parte, da sola non avrebbe causato la nascita della chimica, perché, come afferma Francesco Bacone, "gli assiomi correttamente scoperti e riconosciuti veri armano la pratica in modo non superficiale, ma profondo, e generano un gran numero di applicazioni pratiche ... Non la sola mano, o l'intelletto in sé possono sussistere; tutto si compie mediante gli strumenti e i mezzi ausiliari". Per migliorare, allora, il processo di insegnamento/apprendimento della chimica, come dimostra l'evoluzione del pensiero chimico, teorie e concetti da una parte e tecniche e strumenti dall'altra devono essere integrati, in quanto il loro significato si realizza passando circolarmente dagli uni agli altri.



Questa dissertazione, dunque, vuole essere, anche se in termini non approfonditi, una digressione storica dei principi e dei metodi della conoscenza chimica con l'intento di presentare per sommi capi una metodologia didattica che trasporti gradualmente, nel processo di insegnamento/apprendimento, lo studente dallo studio macroscopico della materia a quello microscopico seguendo appunto il percorso epistemologico (dal greco *episthnh*, scienza, e *logos*, discorso).

2. Concezioni filosofiche

Nel V secolo a.C. il filosofo greco Leucippo fondò una corrente di pensiero conosciuta con il nome di atomismo, che venne sviluppata da Democrito di Abdera. Secondo gli atomisti, l'universo si fondava su due principi, gli atomi (l'essere), corpuscoli indivisibili, e il vuoto (il non essere). Gli atomi muovendosi nel vuoto, in modo vorticoso, si aggregavano originando ogni cosa senza subire alcun mutamento. Essi si distinguevano tra loro solo per grandezza e per forma. Atomi e vuoto erano le uniche certezze, tutte le altre cose erano soltanto convinzioni personali. Il sofista Protagora di Abdera, discepolo di Democrito, infatti, sosteneva che " *l'uomo è misura di tutte le cose, di quelle che sono in quanto sono, di quelle che non sono in quanto non sono*". Dando a "misura" il significato di "criterio" e a "cose" quello di "fatti", si può sostenere che questo filosofo abbia introdotto già nel V secolo a.C. il principio della relatività [2]. La concezione atomistica materialistica derivava dall'impossibilità di dividere in pratica all'infinito la materia. Per successive divisioni, infatti, sarebbe rimasto qualcosa di indivisibile, l'atomo (dal greco *a-témnw*, "non si spezza ulteriormente"). Gli atomisti dunque confondendo l'astrazione con l'osservazione riuscirono a superare i limiti delle sensazioni dirette e per questa strada giunsero anche all'idea della sfericità della Terra. Questa fu la prima concezione in termini astratti di interpretazione della natura.

L'atomismo venne ripreso più tardi tra i filosofi greci soltanto da Epicuro, e da Lucrezio, scrittore latino epicureo, che nel *De rerum natura*, affermando un principio fondamentale, *nil ex nilo, nil in nilum*, niente nasce dal nulla, nulla si trasforma in niente, sosteneva che esiste una *materies aeterna* composta da *rerum primordia*, corpi piccolissimi, gli atomi, da cui si originano tutte le cose. Aristotele di Stagira, filosofo vissuto nel IV secolo a.C., invece contrappose all'atomismo meccanicistico democriteo una visione naturalistica del mondo fisico il cui movimento derivava da Dio. Secondo questa concezione ogni sostanza era considerata una miscela dei quattro *principi, aria-acqua-terra-fuoco*, ognuno dei quali si trasformava nell'altro. Ad esempio, il legno (terra) bruciando generava fuoco e aria, oppure l'acqua evaporando si trasformava in aria. La concezione atomistica tuttavia fu abbandonata ben presto perché era molto astratta, mentre la concezione aristotelica si affermò nei secoli futuri, in quanto era più facilmente comprensibile perché legata a fatti percepibili con i sensi, quindi non astratti. L'alchimia, infatti, interagendo con la cultura filosofica della Magna Grecia abbracciò la concezione dei *principi aristotelici* come fondamento della composizione di tutti i corpi.

3. Riferimenti storici dell'alchimia

Nell'antico Egitto, molti secoli prima della concezione atomistica della materia, si era sviluppata una tecnica, a cui venne dato il nome di alchimia (forse dal greco *Chmía*, terra nera), sui cui procedimenti si basava la mummificazione dei defunti, fatta per impedire che l'uomo perdesse la purezza e la grandezza raggiunte in vita. Dopo la morte, infatti, si riteneva che il corpo entrasse, con la putrefazione, nel ciclo biologico e di conseguenza venisse *reincarnato*. Gli alchimisti avevano messo a punto nel frattempo molte di quelle tecniche che oggi sono proprie della chimica, in particolare l'estrazione dei metalli dai loro minerali mediante i processi metallurgici o, durante l'antica civiltà Assiro-Babilonese, la produzione di coloranti, di profumi e di medicamenti artigianali. Ci sono poi tracce dei processi alchemici sin da quando *l'uomo preistorico* imparò ad estrarre i metalli dai minerali corrispondenti (ad esempio il rame dalle rocce carbonatiche) originando la prima grande rivoluzione culturale della storia, che determina il passaggio dall'*Età della pietra* all'*Età del rame*. L'alchimia in ogni modo si può considerare la genitrice della chimica perché, in quell'affannosa indagine di trasformare senza successo il *vil piombo in oro* oppure nella fallimentare ricerca di scoprire la *pietra filosofale* o *l'elisir di lunga vita*, gli alchimisti misero a punto altri processi, quali quello di produzione della ceramica a partire dai minerali argillosi, quello di estrazione dei coloranti o di produzione di alcuni composti chimici. Tutto questo senza conoscere le leggi fondamentali su cui la chimica si fonda.

Qualche secolo dopo la caduta dell'Impero Romano, furono gli Arabi che, con il loro espansionismo nel bacino del Mediterraneo, si impossessarono delle consolidate tecniche alchimistiche antiche integrandole con la loro cultura. Gli alchimisti arabi, infatti, svilupparono le tecniche di distillazione dell'acqua e del vino con gli *alambicchi* ottenendo l'alcool etilico (dall'arabo *al-ghul*, *spirito del demone*), con cui disinfettavano le ferite e preparavano molti miscugli medicamentosi. Si può dire, in definitiva, che l'alchimia araba fece grandi scoperte e affinò tecniche importantissime e rivoluzionarie tra le quali quella di produzione della carta. Verso la fine dell'VIII secolo dopo Cristo, infatti, a Bagdad si costruì la prima cartiera industriale per la produzione della carta utilizzando come materie prime, la canapa, il gesso, l'allume e la colla. La produzione della carta fu una grande rivoluzione perché permise a sua volta la diffusione della cultura araba in tutti i paesi dominati. Giabir, fondatore dell'alchimia araba, vissuto tra IX e il X secolo dopo Cristo, isolò l'acido acetico dall'aceto e scoprì sia l'acido solforico che l'acido nitrico. Questi acidi consentirono agli alchimisti di fare notevoli progressi. Il tedesco Alberto Magno (1206–1280) per primo importò in Europa le tecniche alchimistiche in seguito alle crociate in Terra Santa. Nel Medio Evo la religione cristiana considerò l'alchimia mera magia e stregoneria perché vedeva in essa e nelle sue tecniche operative un pericoloso stravolgimento della natura così come essa era stata creata da Dio. Per questo fu perseguita dall'Inquisizione fondata verso la fine del XII secolo.

Soltanto nel Rinascimento, l'alchimia ritornò ad essere tollerata. Il filosofo e scienziato tedesco Georgh Bauer, detto Agricola (1494- 1555), nella sua opera *De re metallica* (1556) in cui sono descritti diversi processi metallurgici, pose le fondamenta della mineralogia e della metallurgia. Lo svizzero Philipp Theophrast Bombast von Hohenheim, detto Paracelso (1493-1541), ai *principi* aristotelici ne aggiunse altri tre, *sale-solfo-mercurio*, su cui riteneva si fondi la natura: il *sale* o principio della solubilità e fissità; lo *zolfo* o principio della combustibilità; il *mercurio* o principio della volatilità, e avviò inoltre lo sviluppo della farmacologia. L'alchimista tedesco Libau Andreas, detto Libavius (1550–1616) pubblicò il primo libro di alchimia in cui descrisse la preparazione dell'acido cloridrico, del tetracloruro di stagno e del solfato di ammonio ed anche quella dell'acqua regia, la soluzione in grado di reagire con l'oro.

4. I fatti che hanno permesso la nascita della scienza chimica [3]

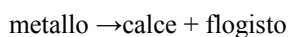
La concezione aristotelica della natura era stata condivisa dalla religione cristiana perché i suoi *principi* erano stati creati da Dio, mentre quella atomistica era stata respinta perché considerata materialistica. A parte queste considerazioni, tali *principi* risultavano molto comprensibili e comunemente accettati dagli alchimisti perché si riferivano alle esperienze sulle sostanze macroscopiche associate ai dati sensoriali. Nel 1623 il filosofo inglese Francesco Bacone (1561–1626) rifiutò la concezione del filosofo di Stagira e cercò di utilizzare il metodo induttivo col quale l'uomo avrebbe potuto dominare la natura (*Instauratio magna*). Il filosofo inglese sosteneva che “*l'acutezza che la natura mostra nelle sue cose*” si prestava molto a spiegazioni irrazionali e quindi magiche. Nel XVII secolo, infatti, ci fu un rifiorire di posizioni critiche nei confronti dell'aristotelismo anche in scienziati e filosofi ecclesiastici, i quali ripresero la concezione atomistica democritea. Il filosofo naturalista e sacerdote francese P. Gassend, detto Gassendi (1592–1655), dalle sue ricerche con il microscopio, strumento inventato da Galilei, fu indotto a riprendere la concezione atomistica, perché rivelò particelle minutissime che, essendo invisibili ad occhio nudo, pensò che fossero atomi. Il prelado tentò di conciliare l'atomismo con l'escatologia cristiana e condivise la concezione eliocentrica copernicana. Era molto pericoloso condividere le idee filosofiche di stampo democriteo o condividere il sistema eliocentrico perché si rischiava di essere inquisiti e considerati eretici dall'Inquisizione che combatteva con il rogo tutti gli individui che erano accusati di posizioni eterodosse o eretiche nei confronti della Chiesa. Questo costituì un freno allo sviluppo del pensiero critico e creativo per lungo tempo.

Anche Robert Boyle (1627-1691) fu indotto a supporre che la materia comune, di cui erano costituiti i *corpi misti*, fosse divisa in minute particelle, differenti per dimensioni e forma. Una concezione questa che riprendeva di fatto quella democritea. Anche lui si sforzò di dimostrare che l'atomismo non negava l'esistenza di Dio, anzi ne era la prova. Nello stesso tempo criticò fortemente l'alchimia, che entrò in crisi già dalla seconda metà del XVII secolo e cessò di esistere definitivamente con la scoperta delle leggi ponderali e volumetriche della chimica, avvenuta a cavallo tra il XVIII ed il XIX secolo. La concezione aristotelica, considerata assoluta e indiscutibile, venne messa effettivamente in discussione per la prima volta dal chimico irlandese nel 1661 che, con la pubblicazione del *The sceptical chymist*, manifestò la sua convinzione che i *principi aristotelici* non erano in grado di poter spiegare i risultati sperimentali in modo razionalmente accettabile, e criticò anche la teoria di Paracelso perché i suoi *principi* impedivano la classificazione esaustiva delle sostanze. Contemporaneamente lo scienziato e filosofo tedesco Gottfried Wilhem von Leibniz (1646–1716) tuttavia diede sostegno ancora alla concezione aristotelica con la pubblicazione, nel 1666, de “*Dissertatio de arte combinatoria*” in cui indicava le quattro qualità della natura: siccità (*siccitas*), caldo (*caliditas*), umidità (*humiditas*) e freddo (*frigittas*) che, rispettivamente, perdute o acquistate da ciascuno dei quattro elementi, permettevano la sua trasformazione in un altro elemento. Secondo Leibniz era possibile ottenere l'oro da un metallo: bastava aggiungere o togliere la giusta quantità di ognuno dei quattro elementi al metallo per fargli acquistare le caratteristiche dell'oro. Non riuscì, tuttavia, a provare con i fatti tale sua convinzione.

La dottrina atomistica doveva superare ancora molti ostacoli tra gli intellettuali perché, pur essendo molto più antica di quella aristotelica, richiedeva una grande capacità di astrazione e molta razionalità, dato che veniva a mancare

Dal modello macroscopico al modello microscopico

qualunque legame tra le proprietà percepite sensorialmente e la composizione delle sostanze. A ciò si aggiungeva poi la posizione intransigente della Chiesa Cattolica che considerava la concezione democritea atea e materialista e quindi eretica. Il passaggio dall'alchimia alla chimica non fu semplice dunque, ma fu una laboriosa conseguenza dell'instaurarsi innanzitutto del metodo scientifico per lo studio dei fenomeni naturali dovuto sia a Francesco Bacone che a Galileo Galilei (1564-1642) e della dialettica suscitata dalla comparsa di varie teorie. La teoria del flogisto (dal greco *flogiston*, *infiammabile*), ad esempio, venne esposta da Johann Joachim Becher nel 1669 in *Physica subterranea* e poi sviluppata dal chimico tedesco Georg Ernst Stahl (1660–1734) nel 1723. Secondo Stahl riscaldando per molto tempo metalli come il ferro, lo stagno, il piombo o il rame si otteneva un materiale – chiamato calce – polverulento e più pesante del metallo e il flogisto:



A sua volta la calce riscaldata con carbone, riacquistando il flogisto, ridava il metallo originario, più leggero della calce :



Tale teoria venne in un primo momento accettata, ma successivamente respinta dal francese Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794) in quanto essa non spiegava alcuni fatti sperimentali. Egli affermò nel 1774, in una sua pubblicazione *Opuscoles phisiques e chimiques*, che l'aumento di peso nella combustione dello zolfo e del fosforo e nella calcinazione del piombo e dello stagno in un recipiente chiuso era conseguenza della combinazione di questi elementi con una parte dell'aria contenuta nel recipiente stesso. L'aumento, infatti, di peso del metallo corrispondeva alla diminuzione del peso dell'aria. Nel 1777 egli riuscì anche ad analizzare l'aria, individuandone i suoi principali componenti, l'ossigeno e l'azoto. La teoria del flogisto di Stahl venne sostituita quindi dalla teoria dell'ossigeno, tant'è che nel 1786, in una nuova pubblicazione *Réflexions sur phlogistique*, Lavoisier dimostrò che il flogisto non esisteva e che tutti i fenomeni di combustione e di calcinazione avvenivano alla presenza dell'ossigeno, componente dell'aria. Grazie a questa scoperta nel 1789, nel *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier enunciò il *principio di conservazione della massa* nelle trasformazioni chimiche. Dieci anni più tardi, il chimico francese Joseph-Louis Proust (1754–1826) formulò la *legge delle proporzioni definite* secondo cui in un composto chimico il rapporto tra le masse degli elementi che lo compongono è definito e costante. Tale rapporto è detto di combinazione.

In contrapposizione, il chimico francese Claude-Louis Berthollet (1748–1822), tra il 1801 e il 1803, pubblicò due libri *Ricerche sulle leggi dell'affinità* e *Saggio di statica chimica*, in cui enunciò la variazione continua della composizione delle sostanze e l'esistenza di composti con composizione variabile basata sull'affinità chimica delle sostanze “*La combinazione di una sostanza con un'altra sostanza dipende dalla sua affinità e dalla sua quantità*”. Nel 1808 la disputa tra Proust e Berthollet finì a vantaggio del primo grazie all'uso di un'accurata analisi ponderale secondo cui nelle reazioni intervenivano quantità definite delle sostanze reagenti, in accordo con la legge di conservazione della massa di Lavoisier. Già agli inizi del 1800 il chimico inglese John Dalton (1766–1844) aveva posto le basi della moderna *teoria atomica* e, nel 1803, aveva enunciato la *legge delle proporzioni multiple*, avviando il processo di matematizzazione della composizione della materia dalla quale ha preso avvio la chimica classica. Grazie alla *legge dei volumi* (1809) di Louis Joseph Gay-Lussac (1778–1850) e al *principio* (1811) di Amedeo Avogadro (1776–1856) si pervenne al concetto di molecola come aggregato di atomi, anche se con circa cinquanta anni di ritardo (1858), grazie al chimico siciliano Stanislao Cannizzaro (1826–1910) [4]. Fin qui alcuni dei principali riferimenti storici del travagliato passaggio dall'alchimia alla chimica. Da tutto questo si evince che molti procedimenti chimici di estrazione e di purificazione delle sostanze siano stati preparati e affinati senza il possesso della concezione microscopica atomistica e che la nascita della chimica fosse stata rallentata per i seguenti motivi: 1) ogni esperienza eseguita veniva associata al dato sensoriale; 2) l'opposizione della chiesa cattolica ad una concezione filosofica che contrastava i dogmi testamentari.

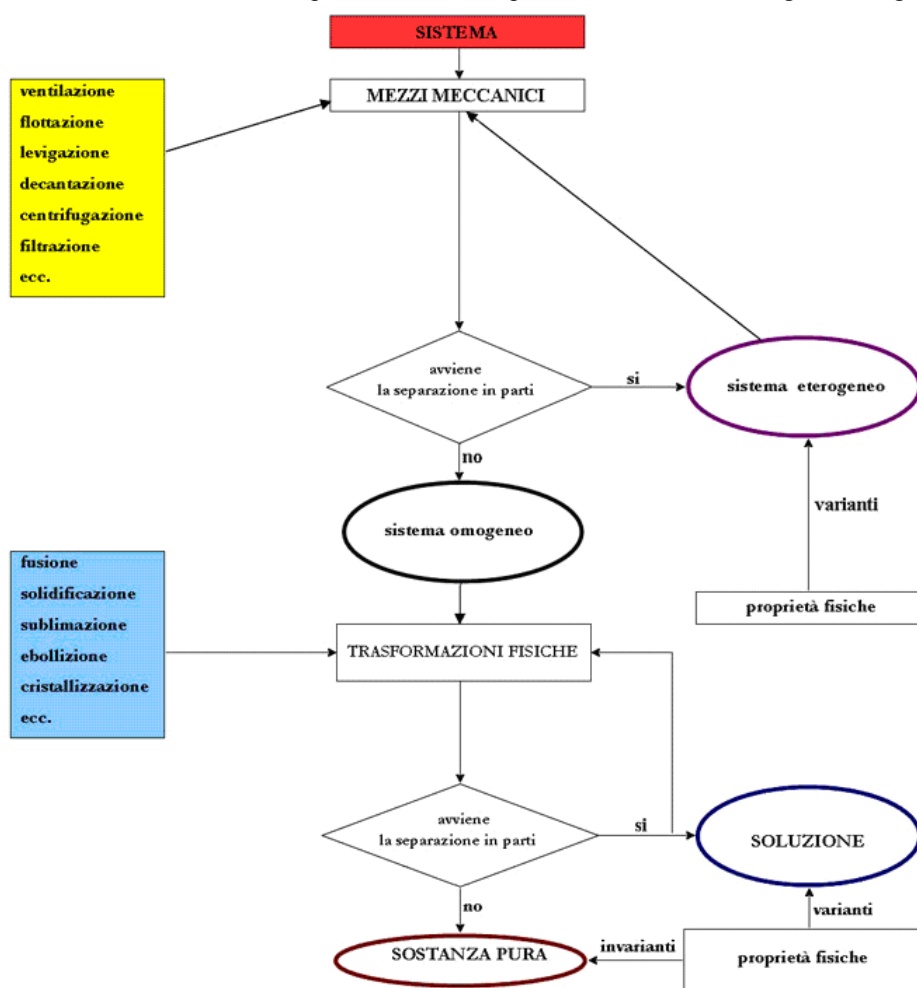
5. Indicazioni metodologiche

Nell'ambito macroscopico della chimica il discorso si riferisce ai vari procedimenti utilizzati dagli alchimisti, che permettevano l'isolamento della sostanza da un dato miscuglio eterogeneo (ad esempio da un minerale). Le tecniche di ventilazione, levigazione, decantazione, filtrazione, ecc. erano adottate per ottenere la separazione del miscuglio delle parti omogenee. Ciascuna di queste parti veniva sottoposta poi a ulteriori trasformazioni fisiche, come la sublimazione, la distillazione o la fusione e la solidificazione, mediante le quali si otteneva un'altra divisione in parti ciascuna delle quali, nel caso avesse presentato determinate proprietà percepite empiricamente, (per i metalli, ad esempio, la malleabilità, la duttilità, la resilienza) veniva individuata come la sostanza cercata. L'ottenimento di talune proprietà in definitiva dava la conferma empirica di aver isolato la sostanza. Dando ora a questa procedura i connotati scientifici, in ambito didattico, e applicando il criterio di invarianza delle proprietà fisiche si perviene alla definizione di sostanza pura. L'identificazione della composizione di un dato materiale richiede dei procedimenti operativi tendenti ad individuare prima le proprietà fisiche e poi quelle chimiche. La determinazione di alcune proprietà fisiche del corpo,

quali la densità, la temperatura di fusione e la temperatura di ebollizione, potrebbe dare una prima indicazione identificativa e la possibilità di accomunare o di differenziare due corpi apparentemente simili, come l'acqua distillata e l'acqua di mare.

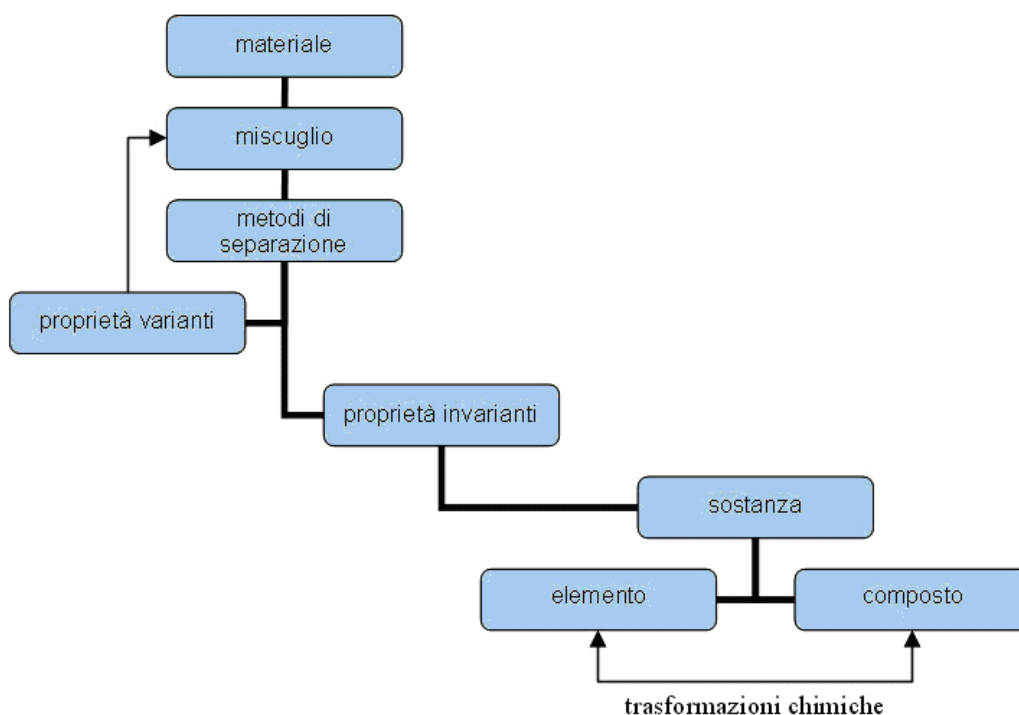
A pressione costante l'acqua distillata (sostanza pura), sottoposta a riscaldamento, bolle a temperatura costante, mentre l'acqua di mare (soluzione acquosa di diversi sali) bolle a temperatura variabile crescente; nel primo caso, in qualunque momento, riportando il liquido alla temperatura di partenza, la sua densità rimane costante, nel secondo caso, invece, raffreddando il liquido alla temperatura di partenza si constata una variazione della sua densità. Il primo campione mantiene invarianza nelle proprietà fisiche indagate, temperatura di ebollizione e densità, mentre il secondo campione con il riscaldamento presenta varianza nelle medesime proprietà. L'invarianza delle proprietà fisiche del campione di acqua distillata o la varianza delle proprietà fisiche riscontrate nel campione di acqua di mare ci permette di capire che i due corpi liquidi, ambedue trasparenti, limpidi, incolori, apparentemente uguali, in effetti sono diversi. L'invarianza ci induce a pensare che il corpo è una sostanza pura, mentre la varianza ci spinge a riflettere sul fatto che il riscaldamento apporta una variazione nella composizione quantitativa del liquido, che si manifesta con la variazione dei valori numerici delle proprietà fisiche considerate e che, quindi, potrebbe trattarsi di un aggregato di sostanze. Da questo esempio, si evince che per studiare un qualunque corpo materiale bisogna trattarlo come un aggregato di sostanze.

Sarà la varianza o l'invarianza delle proprietà fisiche riscontrate che ci farà comprendere razionalmente se il corpo è una sostanza pura o un miscuglio di sostanze pure. L'invarianza nel tempo delle proprietà fisiche determinate è il criterio che permetterà l'isolamento e la caratterizzazione di ogni componente di un dato miscuglio come diverso da qualunque altro. È appena il caso di distinguere le proprietà fisiche intensive, non dipendenti dalla dimensione del corpo campione, quali la temperatura di ebollizione, la temperatura di fusione, la densità, la concentrazione, la tensione superficiale, la conducibilità elettrica, da quelle estensive, dipendenti dalla dimensione del corpo campione, quali il numero di particelle, la superficie, la lunghezza, il volume (nelle condizioni di T e P in cui si trova), il peso, la massa, la carica elettrica. La sostanza pura, quindi, rappresenta un punto di arrivo e non un punto di partenza come invece viene presentata e definita in molti testi scolastici. Il procedimento complessivo è descritto dal seguente diagramma:

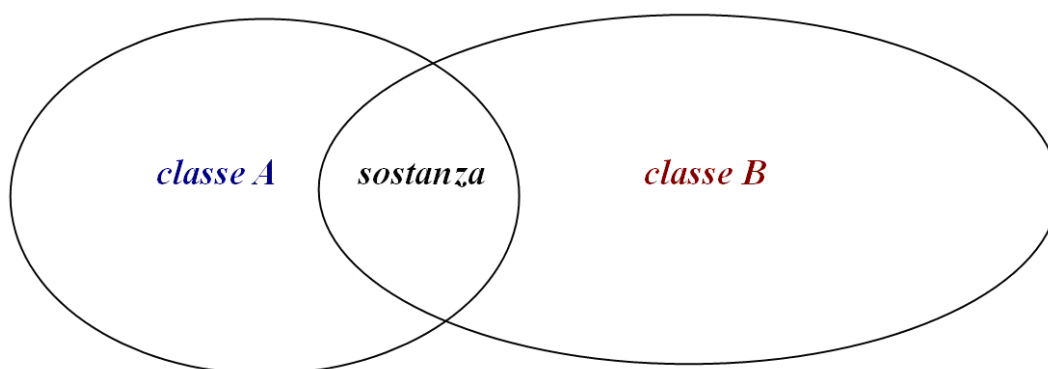


Dal modello macroscopico al modello microscopico

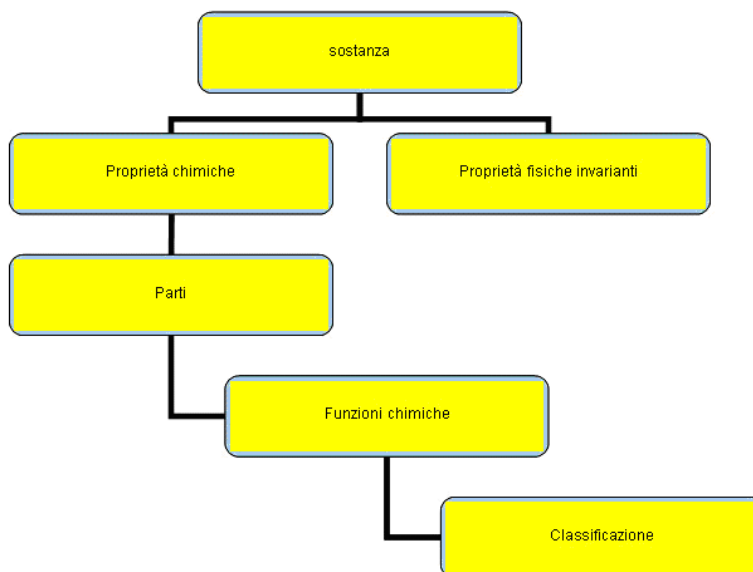
O, più semplicemente, dal seguente diagramma che indica la posizione in cui intervengono le trasformazioni chimiche che permettono di caratterizzare la composizione di una sostanza composta:



In seguito all'isolamento e alla purificazione, infatti, la classificazione chimica di una sostanza (dal latino *sub*, sotto e *stantia*, fondamento, essenza) sarà determinata mediante una serie di saggi chimici o prove di tipo chimico-fisico che permetteranno l'individuazione delle parti che costituiscono la medesima. Queste parti saranno collocate di conseguenza in classi chimiche diverse (o insiemi) che per semplicità indichiamo con A, B, C, ecc. (tali classi possono essere cloruri, nitrati, fosfati, solfati, carbonati, solfuri, ecc.), l'intersezione tra queste classi determinerà il riconoscimento e la classificazione della sostanza:



In tal caso la sostanza pura sarà un composto. Nel caso in cui, invece, la classe di appartenenza è una e una sola, in quanto è stata manifestata una sola qualità, allora, la sostanza pura è un elemento. Il seguente diagramma sintetizza la procedura descritta:



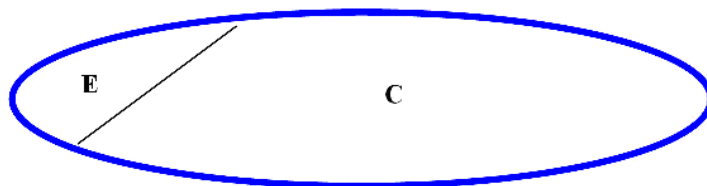
Dunque “ogni sostanza è caratterizzata da un insieme di proprietà chimiche e fisiche non variabili che la rendono unica e indistinguibile da tutte le altre” [5]. Mediante procedimenti quantitativi si può risalire ai relativi pesi equivalenti da cui è possibile determinare i rapporti di combinazione, e mediante l’analisi elementare pervenire agli elementi che costituiscono la sostanza. Applicando, infatti, il principio di Cannizzaro secondo il quale “le diverse quantità del medesimo elemento contenute nelle molecole di composti diversi sono tutte multiple intere di una stessa quantità, che, entrando sempre intera a far parte dei composti, deve considerarsi atomo”, si accetta la indivisibilità dell’atomo postulata da Dalton e, misurando sperimentalmente i pesi di combinazione dei diversi elementi, si ricava la diversa capacità combinatoria che l’atomo di ogni elemento chimico manifesta nei confronti di quella dell’atomo di idrogeno. La capacità equivalente di combinazione di ogni elemento con un grammo di idrogeno viene chiamato peso equivalente. Da ciò deriva “la valenza come rapporto tra il peso atomico ed il peso equivalente di un elemento”.

D’altra parte, portando la sostanza allo stato gassoso, mediante misure di densità [6] (ad esempio col metodo Meyer) e fruendo dei risultati della citata analisi elementare, si possono determinare, passando nell’ambito microscopico, sia i pesi atomici relativi o masse atomiche MA che i pesi molecolari o masse molecolari MM. Conseguentemente si ricavano la formula minima e quella molecolare, le quali simbolicamente evidenziano il raggruppamento di atomi (nella molecola) degli elementi che compongono la sostanza secondo i rapporti di combinazione determinati. Da qui si possono scrivere le equazioni chimiche che sono il modello microscopico delle reazioni. Da tutto ciò si evince che alcuni dei concetti incontrati sono **macroscopici**, mentre altri sono **microscopici** e tra i due c’è una stretta correlazione. Gli uni integrano gli altri. Gli elementi chimici, ad esempio, possono essere “manipolati” praticamente con i simboli corrispondenti e i composti altrettanto con le formule corrispondenti. Parimenti con le equazioni chimiche possiamo descrivere le relative reazioni. Nella tabella seguente sono indicati gli uni e gli altri, da cui può estrapolarsi la relativa corrispondenza. Questa classificazione si ritiene necessaria in quanto molto spesso si fa confusione tra i concetti macroscopici e quelli microscopici.

CONCETTI MACROSCOPICI	CONCETTI MICROSCOPICI
Proprietà fisiche	Simboli
Sostanza	Formula chimica
Funzioni chimiche	Equazione chimica
Reazioni chimiche o saggi	Peso atomico o Massa atomica
Pesi equivalenti	Peso molecolare o Massa molecolare
Elemento	Atomo
Composto	Molecola

Dal modello macroscopico al modello microscopico

Possiamo, allora, dire che l'**insieme delle sostanze pure** è costituito da due sotto-insiemi: quello degli elementi (E) e quello dei composti (C):

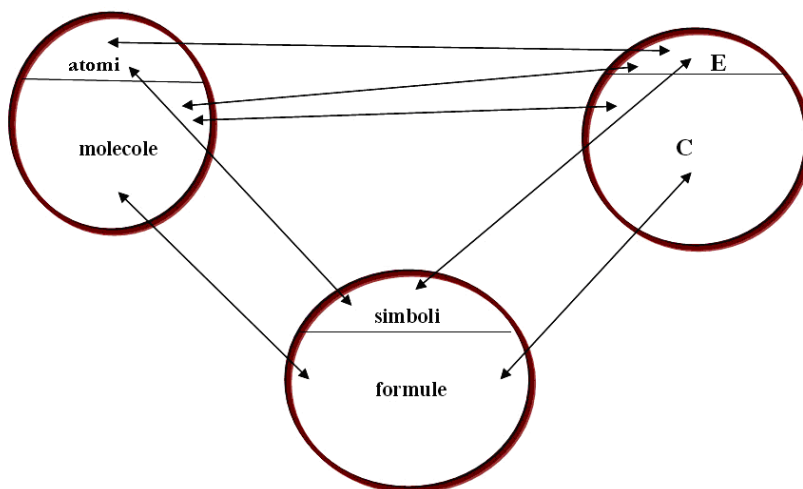


“Al primo sono assegnate tutte le sostanze la cui invarianza è (supposta) assoluta. Al secondo, quelle la cui invarianza è condizionata dalla identificazione di un intervallo di valori per ciascuno dei parametri associati alla loro persistenza (illimitata) nel tempo. Il collegamento tra i due sotto-insiemi è stato basato sulla ipotesi che due o più sostanze di (E) generino per combinazione tra loro tutte le sostanze di (C) aventi composizione elementare assegnata” [7]. Il modello **macroscopico** ci permette di identificare le sostanze e classificarle nel sotto-insieme di appartenenza, di stabilire la composizione delle sostanze composte sulla base degli elementi che le costituiscono, di determinare la composizione delle sostanze del sotto-insieme (C) costituite dalle sostanze del sotto-insieme (E) e di stabilire i rapporti quantitativi che regolano le combinazioni delle sostanze di (E) nelle sostanze del sotto-insieme (C).

“Il modello **microscopico** associato alle sostanze dei due sotto-insiemi è così differenziato



Le sostanze del sotto-insieme (E) sono rappresentate convenzionalmente dai simboli, mentre le formule chimiche, corrispondenti alle leggi di combinazione, rappresentano le sostanze appartenenti al sotto-insieme (C). Simboli e formule sono il modello che rappresenta con linguaggio chimico le entità microscopiche, atomi e molecole, di cui sono costituite rispettivamente le entità macroscopiche, gli elementi e i composti. “Le formule hanno consentito così di manipolare, sia in forma concreta (grafica) che astratta, gli <<oggetti>> della scienza chimica”[7].



Bibliografia e note

1. L. Geymonat, *Lineamenti di filosofia della scienza*, Mondadori, Milano, 1985.
2. M. Bonazzi (a cura di), *I sofisti*, BUR, 2007.
3. Alcuni riferimenti riguardanti la storia della chimica sono presi dal libro di J.I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri* (trad. A. Quilico), EST, Mondadori.
4. Le date di nascita e di morte degli scienziati citati sono state prese dal Dizionario Enciclopedico di Arti, Scienze, ecc., (a cura di EDIGEO), ed. Zanichelli, 1995.
5. E. Torracca, *Contenuti educativi delle teorie chimiche classiche*. In *Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, a cura del C.I.D.I. di Firenze, Marietti-Manzuoli, 1986.
6. Se d è la densità misurata alla pressione p mmHg e alla temperatura t °C, sapendo che la densità d (STP) permette di calcolare la massa molecolare della sostanza $MM = d$ (STP) 22414 cm^3 questa si può ricavare dalla formula $d(\text{STP}) = d \cdot 760/p \cdot T/273$ dove $T = t + 273$ è la temperatura in K.
7. L. Paoloni, *Il passato delle teorie strutturali nel presente della chimica*, in *Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, Marietti-Manzuoli, Firenze, 1986.
8. In base al principio di Avogadro.