EUGENIO TORRACCA (*)

Teorie nuove e loro diffusione: A.W. Hofmann e la chimica degli anni '60 del secolo scorso (**)

Riassunto - Nel 1865 August Wilhelm von Hofmann, poco prima di lasciare Londra per trasferirsi a Berlino, si avventurò nel dare alla Chimica moderna, basata sulla nuova teoria atomica, una forma che fosse adatta all'insegnamento e alla divulgazione.

Nella decade precedente grandi cambiamenti erano avvenuti nella chimica, che si trovava in una fase di transizione verso la nuova teoria atomica, mentre il vecchio sistema era caratterizzato non tanto per il porsi come teoria alternativa, quanto per la mancanza (o il rifiuto) di un approccio unitario.

Dimostrare come la nuova teoria potesse essere insegnata in un modo assai semplice, elegante e logico, tale da essere comprensibile non solo agli studenti, ma a chiunque, rappresentò un contributo alla sua definitiva accettazione. Perciò la «Modern Chemistry» di Hofmann deve essere considerata moderna anche perché riuscì ad uscire dal contesto della ricerca accademica.

New Theories and Their Spreading: A.W. Hofmann and the Atomic Theory in the 1860s.

Abstract - In 1865 August Wilhelm von Hofmann, just before leaving London for Berlin, ventured upon giving Chemistry, in its modern version based on the new atomic theory, a shape which could be suitable both for education and popularization.

Chemistry had seen great changes in the past decade and was in a situation of transition between the new atomic theory and the old system which, more than being a rival theory, was characterized by the lack (or refusal) of a unitary approach.

To demonstrate that the new theory could be taught in a very simple, elegant and logical way and that could be understood not only by the students but also by the laymen, would have surely represented a contribute to its final acceptance. Hofmann's «Modern Chemistry» is therefore to be considered modern also because it went over the academic research context.

Un'opera didattica è in genere concepita in modo da presentare in maniera coerente e convincente alcuni punti più o meno fondamentali di una determinata disciplina. Registra lo stato delle conoscenze in quel campo e lo codifica in una forma che renda efficace la loro trasmissione. In alcuni momenti significativi dello sviluppo storico di un'attività culturale, un'opera didattica è stata però anche il veicolo attraverso il quale veniva proposta l'innovazione, il cambiamento di prospettiva,

(*) Dipartimento di Chimica, Università degli Studi «La Sapienza», Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma.

(**) Lavoro dedicato al Professor G.B. Marini-Bettòlo, Uno dei XL, in occasione del 75° compleanno.

il nuovo linguaggio. La proposta avrebbe avuto quindi un valore didattico solo se il cambiamento fosse stato accettato, il testo si proiettava in avanti in un contesto possibile, non ancora attuato, ed era lo strumento che esplorava le possibilità offerte dal nuovo sistema.[1]

Da questo punto di vista, per quanto riguarda la Chimica e la teoria atomico-molecolare sviluppata alla fine degli anni cinquanta del secolo scorso, il testo che corrispondeva alla situazione delineata era senz'altro il «Sunto di un corso di filosofia chimica» di Stanislao Cannizzaro.[2] Nonostante la sua veste di apparente resoconto di un'attività didattica consolidata, il Sunto era però un testo che presupponeva conoscenze molto ampie di Chimica e una capacità di destreggiarsi tra i dati sperimentali che non ne facevano certo un'opera introduttiva. Da questo punto di vista quindi, ai seguaci della nuova teoria era mancato il veicolo attraverso il quale diffondere le proprie concezioni e i militanti del campo avverso potevano anche continuare a considerarle espressioni del punto di vista, discutibile e non del tutto dimostrato, di alcuni esponenti della loro comunità.

Sette anni dopo la pubblicazione dell'articolo di Cannizzaro, infatti, la situazione della Chimica era in uno stato paragonabile a quello di «un campo di battaglia immediatamente dopo uno scontro decisivo, nel momento in cui gli squadroni sconfitti, momentaneamente dispersi, si stanno radunando di nuovo per un rinnovato attacco».[3] Le questioni teoriche non erano quindi affatto assodate e le nuove concezioni non erano state ancora elaborate in una struttura didattica funzionale. In questo contesto, nel 1865, un chimico di origine tedesca che lavorava in Inghilterra, August Wilhelm von Hofmann decise di impegnarsi in favore della nuova teoria su due fronti «esterni», quello divulgativo e quello didattico.

Hofmann sentiva evidentemente la necessità, in un momento di grande cambiamento della sua vita — era stato chiamato a Berlino a ricoprire la cattedra di Mitscherlich e si apprestava a tornare in Germania dopo venti anni di permanenza in Inghilterra — di fissare in una forma nuova, nei contenuti e nel modo di presentarli, quelle concezioni che una parte consistente dei chimici ormai condivideva. La novità di queste idee rispetto a quelle del periodo precedente avevano portato Hofmann a considerare quegli anni come un periodo caratterizzato da trasformazioni così profonde, attuate attraverso conflitti tanto accentuati, da rappresentare quella che sul piano politico avrebbe dovuto essere denominata una Rivoluzione.[4]

[1] Un esempio di questo tipo di opera è «Il clavicembalo ben temperato» di J.S. Bach che si presenta, appunto, con una doppia valenza, di regola codificata e di innovazione. Il veicolo attraverso il quale viene proposto il cambiamento è una raccolta di preludi e fughe che hanno valore educativo solo se ci si pone all'interno del nuovo sistema tonale. Queste composizioni rappresentano, nello stesso tempo, un esempio di tutte le possibilità espressive offerte dal nuovo sistema attraverso il passaggio graduale da una tonalità alla successiva lungo tutta la scala cromatica. Gli esercizi non ripropongono quindi un ordine già noto, ma rappresentano la regola codificata di un cambiamento possibile.

[2] S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, «Nuovo Cimento», *7*, 321-366 (1858). Un'analisi dettagliata della memoria di Cannizzaro e del significato che ebbe per lo sviluppo della Chimica si trova in numerosi articoli di L. Cerruti e nel suo recentissimo volume «Il luogo del Sunto», Sellerio 1990.

[3] A.W. Hofmann, *On Lecture Illustrations*, «Chem. News», *11*, 66-68 (1865), *12* 42-45, 55-57 (1865). La citazione è a pagina 66.

[4] I termini utilizzati da Hofmann sono «innovation», «revolt», «Youth», «spring up», «engender», contrapposti a «resist», «authority», «old dogmas», «Age».

Queste idee erano state il frutto di un rapporto costruttivo che si era instaurato tra l'acquisizione, preziosa, anche se apparentemente disordinata, di fatti nuovi a un ritmo che sembrava incontrollabile e l'attività ordinatrice di alcune «menti filosofiche» — come le definiva Hofmann — che operava su questi. Il risultato era un sistema ordinato, basato sulla integrazione tra dati chimici e fisici (leggi ponderali e densità gassose) e sul riconoscimento di tipi strutturali, di sostanze, cioè, che potevano essere considerate, sia sul piano della composizione che su quello della costituzione, capostipiti di tutte le altre. Da questo nuovo ordine erano scaturiti punti di vista assolutamente inediti sulla costituzione della materia, di modo che sostanze apparentemente diverse e tra le quali non sembrava potesse sussistere alcun tipo di collegamento, risultavano disposte all'interno di un sistema razionale di relazioni che non erano più riferite soltanto alle caratteristiche esterne dei corpi, ma a qualcosa di molto meno accessibile, che riguardava il modo nel quale erano tenuti insieme i costituenti elementari della materia.

L'impegno didattico di Hofmann si concretizzò nel testo «Introduction to Modern Chemistry, Experimental and Theoretic»,[5] che corrispondeva alla parte introduttiva del corso di Chimica che Hofmann teneva in quegli anni nelle aule del College of Chemistry e consisteva di dodici lezioni, corredate da moltissimi esperimenti originali, che dovevano rendere accessibile alle nuove generazioni i fondamenti della teoria atomico-molecolare. La struttura di questo libro risente del fatto che vide la luce, come si è detto, in un momento cruciale[6] della storia della Chimica, nel quale si doveva decidere se procedere in una direzione o in un'altra, e questo implicava particolari necessità didattiche che imponevano una scelta su cosa trattare e su come presentarlo. L'impegno divulgativo si attuò in una memorabile conferenza alla Royal Society, nella quale, per rendere più accessibile e visualizzabile quanto veniva dicendo, Hofmann ideò i modelli molecolari a palline ed asticciole che da allora hanno accompagnato gran parte dell'attività creativa dei chimici.[7]

Un venerdì sera, alla Royal Institution, parlando di scatole cinesi e di croquet

In una di quelle conferenze serali del Venerdì che la Royal Institution faceva tenere ai suoi membri più in vista per portare all'attenzione del grande pubblico i problemi della scienza dell'epoca, Hofmann presentava la Chimica mostrando ai convenuti un gran numero di recipienti radunati su di un tavolo e contenenti materiali apparentemente molto diversi tra loro. Di fatto, faceva capire Hofmann, ognuna di quelle sostanze era il nodo di una rete tramite la quale risultava legata ad innume-

[5] A.W. Hofmann, *Introduction to Modern Chemistry. Experimental and Theoretic*, London 1865.

[6] Il termine utilizzato da Hofmann per indicare il momento è «juncture», termine che nel Roget's Thesaurus viene riportato accanto a «event», «occasion», ma anche «crisis»; «event» si trova assieme a «contingency», ma anche a «point of no return» e «occasion» compare con «critical moment», «crucial moment», «hour of decision».

[7] A.W. Hofmann, *On the Combining Power of Atoms*, Chem. News, *17*, 166-169; 175-179; 187-190 (1865).

revoli altre dello stesso tipo, non presenti, ma esistenti e a tutte le altre, ancora non esistenti, se non nella mente dei chimici e che potevano essere «chiamate in vita» non appena ve ne fosse bisogno, per verificare una teoria o per cercarne un'applicazione.[8] A quella stupefacente varietà sul piano materiale corrispondevano però pochi principi generali che erano il risultato, sul piano teoretico, dell'attività dei chimici su quelle sostanze.

La linea di presentazione seguita da Hofmann aveva come punto di partenza il meccanismo, formale, mediante il quale era possibile ottenere una serie più o meno estesa di composti a partire da un capostipite opportunamente scelto: il processo consisteva nella progressiva aggiunta di un numero crescente di atomi o gruppi di atomi al composto che generava la serie. In questo modo i quattro acidi ossigenati del cloro risultavano derivati dall'acido cloridrico per aggiunta di uno, due, tre o quattro atomi di ossigeno, mentre aldeide acetica, acido acetico e acido glicolico venivano a far parte di una serie generata dall'etilene per aggiunta progressiva di un numero crescente di atomi di ossigeno. Oltre a queste serie nelle quali ogni termine differiva da quello adiacente per un atomo di ossigeno, Hofmann ne individuava altre seguendo un procedimento analogo: quella delle ammine, nella quale il gruppo aggiunto era NH e quella degli idrocarburi nella quale veniva intercalato il gruppo CH_2.

Riguardo al rapporto tra gli aspetti formali del processo di costruzione per aggiunta di atomi e quelli materiali, che collegano con processi molto spesso tortuosi una sostanza alle altre, appare evidente che la necessità di far avvicinare alla Chimica un pubblico poco attratto da quello che costituiva il bagaglio tecnico sperimentale della disciplina, fece scegliere a Hofmann una presentazione fondata essenzialmente sulle formule. Dal confronto di una formula con un'altra faceva emergere l'idea di una serie, i termini della quale differivano soltanto per un atomo o per un gruppo di atomi. I collegamenti delle sostanze tramite le formule apparivano allora incredibilmente semplici se confrontati con la complessità dei processi che ne costituivano il contraltare sul piano materiale. Il confronto tra la serie forniva inoltre l'indicazione dell'equivalenza tra O, NH e CH_2, passaggio logico scelto da Hofmann per introdurre l'idea di valenza. La ricerca di una risposta al perché di questa equivalenza suggeriva lo studio dei composti più semplici degli elementi considerati con il più semplice di tutti gli elementi, l'idrogeno.

La seconda parte della conferenza riguarda la considerazione dei quattro composti tipici — acido cloridrico, acqua, ammoniaca e metano — dal punto di vista della loro composizione in volume. Per visualizzare i dati sperimentali, Hofmann prende a prestito un'idea dal libro «Wizard of the North» e rappresenta i volumi dei quattro composti allo stato gassoso come scatole che ne contengono altre in numero variabile. Esprimendo la composizione come volumi dei componenti corrispondenti a due volumi dei composti, dalle quattro scatole uguali venivano estratte due scatole per l'acido cloridrico, tre per l'acqua, quattro per l'ammoniaca e cinque per il metano (Figura 1). Poiché prendendo due volumi dei composti il volume del-

[8] Per la Chimica, dunque, come per gli altri sistemi strutturati, le mancanze erano altrettanto significative che le presenze; la differenza fondamentale rispetto ad altri sistemi di classificazione era che la Chimica, come dirà Berthelot, «creava il suo oggetto», nel senso appunto che intendeva Hofmann.

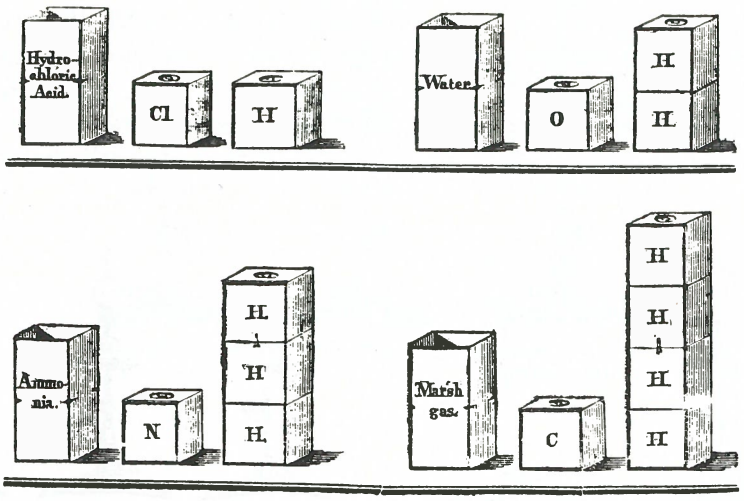

Fig. 1 - Le scatole utilizzate da Hofmann per rappresentare la composizione in volume dei quattro composti tipici. I volumi degli elementi sono dati per due volumi dei composti.

l'elemento combinato con l'idrogeno è in tutti i casi unitario, risulta che i volumi di idrogeno nei quattro composti sono, nell'ordine, uno, due, tre e quattro.

Il terzo punto riguarda la conversione volumi → atomi che viene attuata alla luce del principio uguali volumi — uguale numero di molecole. Secondo Hofmann questo principio era sostenuto dalla (era anche un modo di esprimere la) uniformità di comportamento dei gas per quanto riguardava il volume occupato nelle diverse condizioni di pressione e di temperatura. Se un dato volume di un gas qualsiasi assumeva identici valori nelle medesime condizioni di P e T — e poiché le variazioni di P e T provocavano effetti che dipendevano dal numero di particelle — voleva dire che volumi uguali contenevano lo stesso numero di particelle.

Il quarto punto riguardava il rapporto di combinazione che ogni elemento presentava nei riguardi di altri. Dato che i rapporti nei valori delle loro capacità di combinazione si mantenevano costanti in differenti situazioni, ogni elemento poteva essere caratterizzato mediante un numero che esprimeva questa sua capacità costante. Questo numero rappresentava quindi quanto «valeva» un deteminato elemento rispetto a quello di riferimento e rappresentava il vincolo che doveva essere rispettato sul piano delle combinazioni e quindi su quello della costituzione. Il modo in cui un elemento si combinava era un riflesso di questa proprietà intrinseca degli atomi che determinava anche il modo con il quale erano costruiti gli edifici molecolari.

Per visualizzare questi concetti Hofmann ricorre a questo punto a un gioco molto popolare, il croquet che gli dà l'idea di rappresentare gli atomi con palle colorate secondo un codice — è ancora quello attuale — che permetteva di distinguere i vari atomi. Le scatole del mago — contenitori indifferenziati di altre scatole dello stesso tipo — vengono sostituite da palline attrezzate con uno, due, tre o quattro braccetti metallici che rappresentano le valenze degli atomi (Figura 2). I modelli chiariscono

immediatamente perché l'ossigeno si aggiunge da solo (le sue due valenze vengono entrambe saturate per effettuare l'inserimento), l'azoto come NH (Figura 3) e il carbonio come CH_2. Si può vedere come la valenza unitaria del cloro implichi l'inserimento di questo elemento non come addizione, ma solo come sostituzione e come le valenze libere dei composti insaturi del carbonio implichino reazioni di addizione fino a che non vengano saturate (Figura 4). Come si vede dalle Figure 5 e 6, la

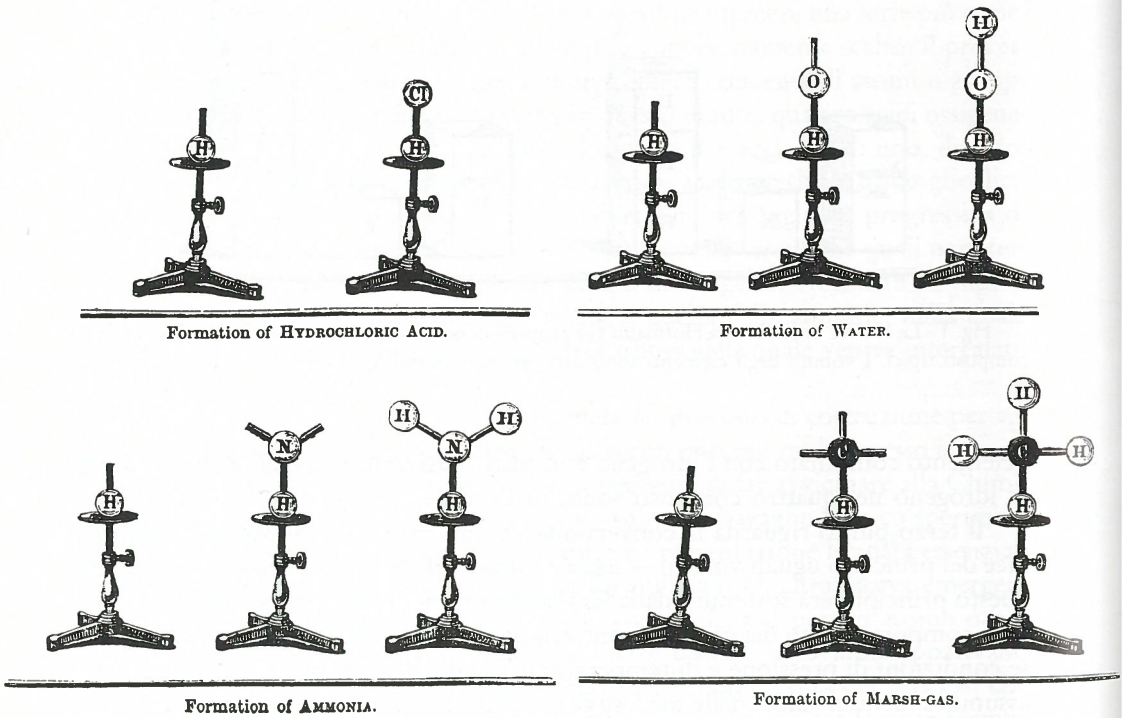

Fig. 2 - Le palle del croquet vengono utilizzate per visualizzare la formazione dei quattro composti tipici.

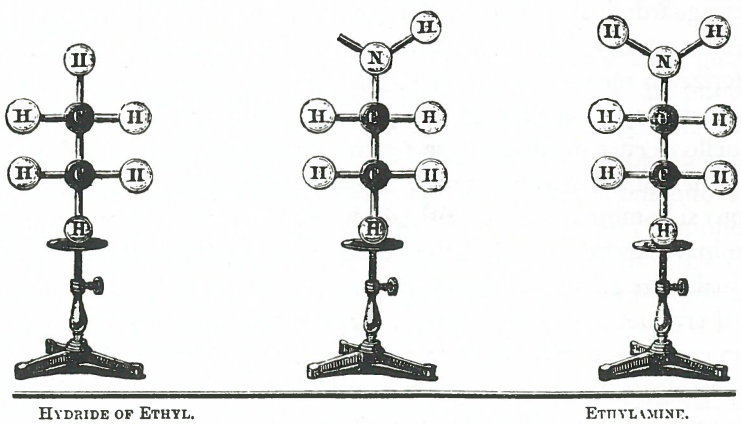

Fig. 3 - I modelli spiegano perché l'azoto si inserisce come gruppo NH.

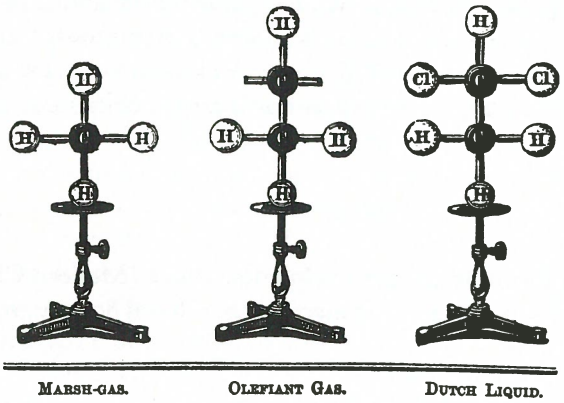

Fig. 4 - Il carattere insaturo dell'etilene viene connesso con il suo stato di «molecola non finita».

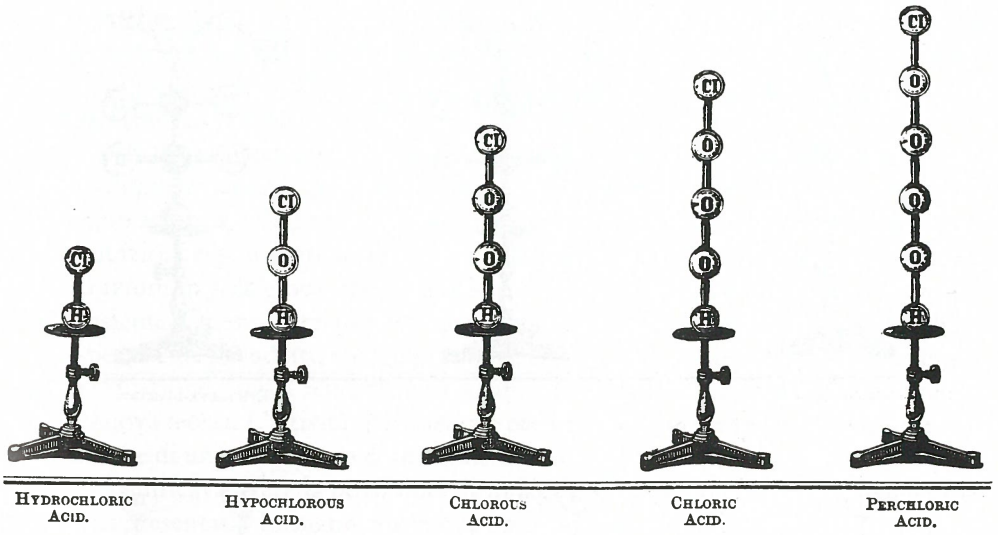

Fig. 5 - L'assunzione della valenza costante per il cloro comporta una concatenazione degli atomi di ossigeno per rendere conto delle formule degli ossiacidi del cloro.

presenza di un numero crescente di atomi o di gruppi di atomi in un composto, o, meglio, l'esistenza di una serie caratterizzata da un numero crescente di atomi di quell'elemento, viene vista da Hofmann come formazione di catene di atomi, analogamente a quanto era stato accertato con il carbonio. Questi concatenamenti di atomi erano il risultato inevitabile dell'assunzione della valenza come grandezza costante, caratteristica di ogni elemento.

La conferenza è quindi caratterizzata dal tentativo, pienamente riuscito, di rendere accessibile con grande immediatezza le più recenti acquisizioni teoriche della Chimica di quegli anni. Hofmann, partendo dal concreto dei comportamenti chimici, riesce ad elaborarli in modo da ottenere informazioni sulle caratteristiche degli atomi. Facendo ricorso a modelli di tipo meccanico (definisce «mechano-chemical

edifices» quegli oggetti mai visti prima che rappresentavano le molecole), riesce a tornare a qualcosa che sembra di nuovo concreto. Il punto di arrivo è però molto diverso da quello di partenza: la concretezza degli atomi è accessibile solo all'interno di una concezione ben precisa sulla costituzione della materia.

Dodici lezioni per introdurre la nuova chimica

L'assetto dato da Hofmann al suo «Introduction to Modern Chemistry» è simile, per certi aspetti, a quello della conferenza alla Royal Society, ma, per altri versi,

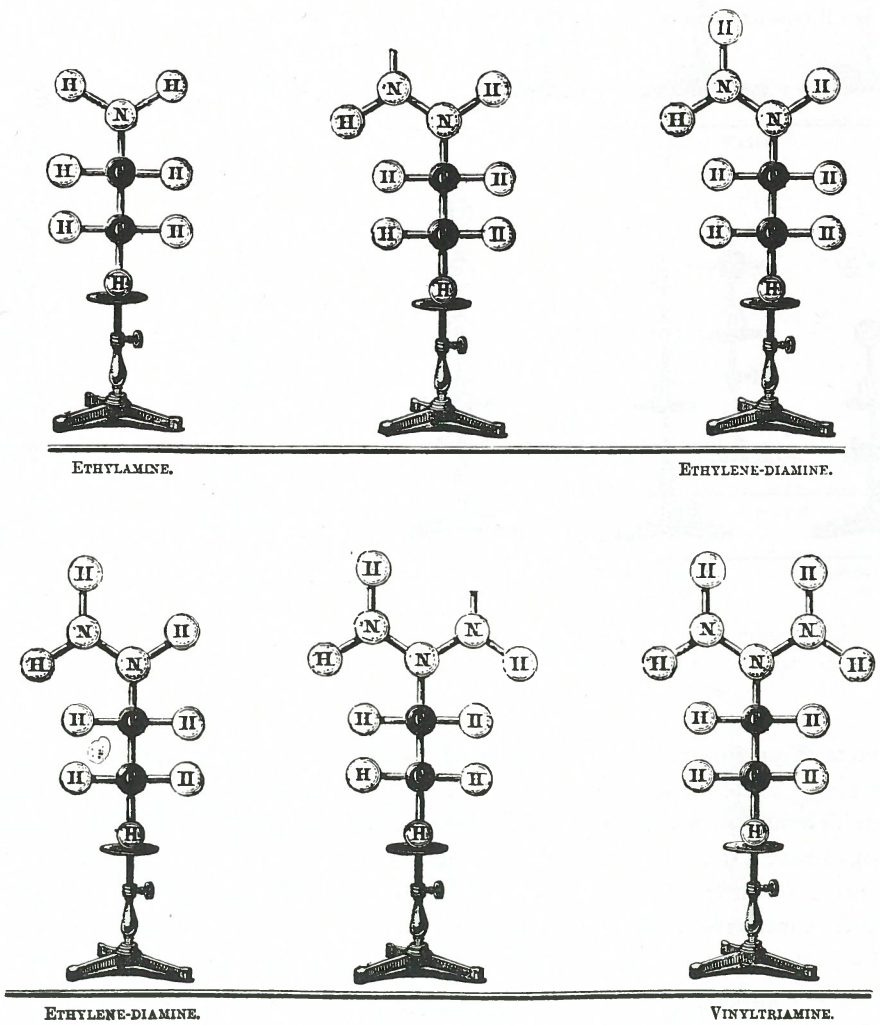

Fig. 6 - L'idea della serie omologa — gli idrocarburi saturi ne sono il paradigma — prende la mano a Hofmann che rappresenta anche la struttura delle ammine mediante concatenazioni di atomi di N.

se ne discosta notevolmente. L'obiettivo finale della trattazione in entrambi i testi è la ricostruzione, assieme al lettore, di quell'insieme di fatti e di ipotesi che giustifica, secondo l'autore, la concezione generale della valenza[9] degli atomi; da questa, infatti, con molta eleganza, è possibile derivare la spiegazione di gran parte delle formule e dei comportamenti chimici delle sostanze. A causa delle limitazioni imposte dal tempo a disposizione e dal tipo di pubblico, nel testo della conferenza Hofmann aveva lavorato molto sulle formule (la serie dei composti omologhi che differivano per il numero di O, NH, CH_2) ed era arrivato molto rapidamente all'idea di una capacità di combinazione costante degli atomi. Nel testo delle lezioni, invece, il materiale presentato è costruito attorno a una gran copia di esperimenti e l'obiettivo dichiarato è di fornire una base sperimentale ineccepibile all'insegnamento della nuova teoria. Gli esperimenti scelti segnano sin dall'inizio la strada obbligata che dovrà essere percorsa per arrivare là dove Hofmann vuole portare l'allievo. Lo sforzo del docente è stato infatti di selezionare, tra tutti quelli osservabili, quell'insieme di fatti che, opportunamente interpretati permetta di ricavare i principi generali. Ognuno degli esperimenti è descritto con grande cura, in modo da poter essere eseguito da chiunque e analoga attenzione è posta alle apparecchiature usate, ognuna delle quali è fedelmente riprodotta nelle tavole che accompagnano il testo (Figura 7 e 8).

Hofmann era pienamente consapevole del fatto che andava inventato un nuovo modo di presentare la Chimica e che era estremamente importante scegliere l'itinerario più adatto a collegare la concretezza degli esperimenti all'astrattezza delle rappresentazioni riguardanti atomi e molecole. Da questo punto di vista, quindi, le dimostrazioni in aula giocavano un ruolo insostituibile per il progetto educativo nel suo insieme. Questo determina la cura meticolosa con la quale Hofmann sceglieva gli esperimenti più adatti, escogitandone dei nuovi o modificando quelli tramandati dalla tradizione, fino a renderli uno strumento agile ed efficace dell'insegnamento della nuova teoria. L'attività sperimentale per Hofmann determinava comunque l'acquisizione di uno strumento di indagine della realtà, nel senso che saper fare esperimenti significava avere la possibilità di indagare sul mondo circostante. Sugli esperimenti presentati Hofmann costruisce un itinerario che utilizza definizioni operative per chiarire la differenza tra combinazioni chimiche e miscele o tra composti ed elementi e le regolarità come quelle delle combinazioni gassose o delle leggi ponderali per esprimere la composizione, in modo da generare un sistema materiale di classificazione fondato sui quattro elementi tipici (Cl, O, N, C).

A questo proposito va rilevato che le specie chimiche che erano state utilizzate nella teoria dei tipi come riferimenti ai quali ricondurre tutte le altre attraverso lo studio del loro comportamento, diventano per Hofmann le combinazioni più rap-

[9] È proprio in questo testo, a pagina 169, che viene introdotto il termine «quantivalence», in sostituzione di «atomicity», che Hofmann considera «vague and rather barbarous», perché la stessa espressione avrebbe indicato la capacità di «fissare atomi» (atom-fixing) di un elemento e il numero di atomi che ne costituivano la molecola. Nelle due pagine precedenti a questa si trova una delle prime (se non la prima) definizione di valenza come rapporto tra il peso atomico e il peso equivalente e il suggerimento di utilizzare numeri romani posti accanto al simbolo dell'elemento per indicare questo «coefficient of atom-fixing power».

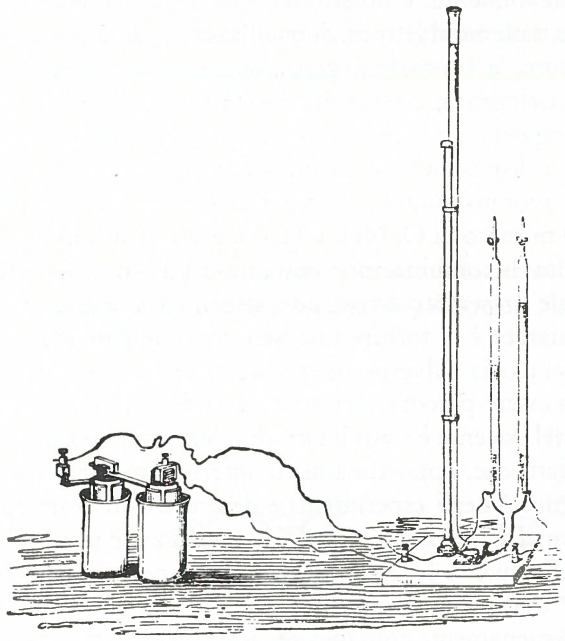

Fig. 7 - Apparecchiature ideate da Hofmann per i suoi esperimenti: il voltammetro a gas.

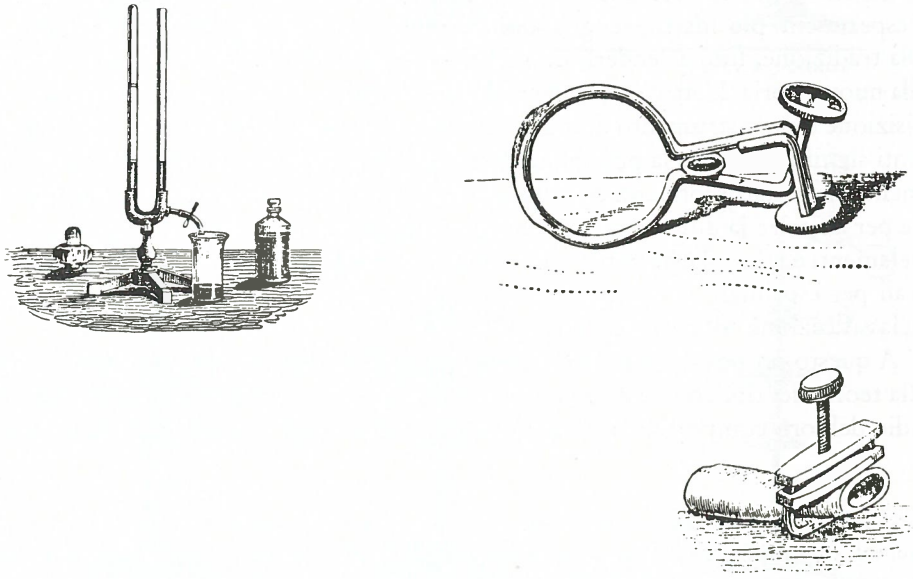

Fig. 8 - L'apparecchio utilizzato da Hofmann per gli esperimenti con i gas. Il volume veniva variato aggiungendo mercurio e facendolo uscire dal tubicino laterale. Il flusso veniva regolato mediante le pinze — divenute da allora familiari — rappresentate sulla destra.

presentative tra quelle nelle quali i volumi di idrogeno entrano in rapporti crescenti da 1:1 a 1:4. Il punto chiave di questo passaggio è il riconoscimento che la capacità di fissare è identica alla capacità di sostituire. In questo modo tutti quei collegamenti che era stato possibile stabilire tra le sostanze per mezzo delle reazioni di sostituzione vengono ritrovati come conseguenza di una proprietà degli atomi stessi. Così, tutte le ammine (mono-, di-, triammine) erano state raggruppate sotto il medesimo «tipo» — lo stesso Hofmann aveva introdotto il tipo ammoniaca nel 1850 — nel senso che si potevano «generare» le ammine per sostituzione progressiva di uno, due, tre equivalenti di idrogeno con altrettanti radicali. La «conversione» dei dati di sostituzione in dati di «capacità di fissare» implica che questo è una conseguenza del fatto che l'azoto può fissare fino a tre radicali. L'ammoniaca diventava allora il composto più semplice che si potesse considerare per trovare la capacità di combinazione dell'azoto e questa sarebbe stata indicata semplicemente dalla sua composizione. Ciò significava sul piano didattico che si poteva fare a meno di svolgere la chimica delle ammine e ci si poteva concentrare sull'analisi dell'ammoniaca. Questo implicava che si potevano fare in classe gli esperimenti che servivano a sviluppare in poche lezioni tutta la teoria necessaria. Il cambiamento di prospettiva, rispetto alla situazione precedente, è piuttosto rilevante.

Dopo aver descritto l'esecuzione di un numero cospicuo di esperimenti, alcuni molto ingegnosi, mediante i quali ricavare la composizione in volume dell'acido cloridrico, dell'acqua e dell'ammoniaca, Hofmann affronta il problema della trascrizione dei dati sperimentali in una forma simbolica appropriata e pone come obiettivo la messa a punto di un linguaggio adeguato alla descrizione dei fenomeni osservati. Quasi impercettibilmente questo linguaggio, che all'inizio è una mera trascrizione, apparentemente arbitraria, scelta per la sua semplicità, dei dati sperimentali, si allontana progressivamente dalla matrice che lo ha generato e, attraverso un processo di astrazione dal concreto, determina l'entrata in scena di entità non più tangibili, atomi e molecole, il cui modo di agire, regolato da un ristretto numero di norme precise, è il responsabile ultimo di tutti i comportamenti osservati.

La transizione del concreto all'astratto, che si attua tra i primi capitoli e quelli successivi, è distintamente percepibile anche analizzando la distribuzione delle figure. Nei primi tre capitoli sono riportati 59 disegni di esperimenti o apparecchiature; negli altri nove ce ne sono soltanto sei, ma uno spazio pressocché equivalente è dedicato a tabelle, diagrammi, formule.

Il processo è quindi volutamente circolare, si parte dai dati per spiegare i dati, ma il percorrere questa strada fa emergere qualcosa di profondamente nuovo, una concezione della materia molto articolata, costruita attorno ai dati sperimentali.

L'indagine eseguita sui composti idrogenati degli elementi tipici viene estesa agli altri elementi che dimostrano analogia di comportamento. Così al cloro si affiancano bromo, iodio e i rispettivi idracidi; all'azoto, il fosforo, l'arsenico e al carbonio il silicio. Il risultato è un sistema di classificazione, basato sulla valenza, nel quale le sostanze sono raggruppate in generi e specie. Il fondamento di questo sistema sono i comportamenti sperimentali (il sistema di classificazione è definito «naturale») delle sostanze.

Da notare che la concezione della valenza costante, che sul piano strutturale aveva prodotto catene di atomi di O o di N, difronte al problema di composti binari a più rapporti di combinazione quali i cinque ossidi di azoto — difronte, dunque, al fenomeno delle proporzioni multiple — viene parzialmente sfumata, nel senso di considerare il valore assegnato come valore massimo. Così Hofmann considera i cinque ossidi citati composti nei quali, simmetricamente rispetto a N_2O_3, la valenza dell'azoto e dell'ossigeno non sono reciprocamente saturate: per i primi è l'azoto ad essere in difetto, per gli altri è l'ossigeno. La constatazione che il composto «giusto», N_2O_3, non è il più stabile, porta Hofmann a distinguere tra la «capacità» a fissare gli atomi e l'«intensità» con la quale vengono fissati, preludendo a una serie di questioni riguardanti la valenza come numero e la valenza come forza che animeranno in maniera ricorrente i dibattiti dei chimici sulla valenza.

Conclusioni

L'obiettivo che Hofmann si era proposto era di mostrare come la Chimica potesse essere insegnata a partire da una concezione generale nella quale la materia era fatta di molecole, formate da atomi che si combinavano secondo regole di valenza. Per dimostrare questa tesi Hofmann scrisse questi due testi nei quali ragionamenti su esperimenti chiarivano i fatti e rendevano possibile enunciare principi. Da questi principi emerge una Chimica nella quale i nuovi termini della realtà sono divenuti gli atomi e la loro valenza, le molecole e la loro struttura. È proprio questo aspetto di ordinata semplicità che, al di là di ogni altra considerazione scientifica, sembra attrarre Hofmann verso l'ipotesi atomico-molecolare. «It is a movement as of light spreading itself over a waste of obscurity, as of law diffusing order throughout a wilderness of confusion, and there is surely in its contemplation something of the pleasure which attends the spectacle of a beautiful daybreak, something of the grandeur belonging to the conception of a world created out of chaos».

Dimostrare che la nuova teoria poteva essere insegnata in maniera lineare ed efficace era un obiettivo che avrebbe contribuito anche a renderla maggiormente accettabile.

Questi due interventi «esterni» di Hofmann non rappresentano quindi il veicolo dell'innovazione teorica, nel senso rappresentato dal Sunto di Cannizzaro, ma piuttosto il veicolo della sua diffusione; sono sicuramente il veicolo dell'innovazione per quanto riguarda un modo di insegnare la Chimica. Il modello pedagogico proposto da Hofmann è per moltissimi versi ancora attuale.