

ANTONINO DRAGO (*)

Il caso della teoria chimica come rivelatore dei limiti dell'interpretazione strutturalistica della storia della scienza ()**

Summary - Since 1973 Sneed — and then Stegmüller, Balzer and Moulines — introduced a remarkable novelty in the history of science. By means of the language of set theory they characterized by means of a particular kind of axiomatics the mathematical structure as well as the applications of a scientific theory. In such a way they want to study the foundations and the history of science no more by means of natural language but a scientific language referring to formal structures. They are able to analyse some basic notions of a great relevance; i.e. the net of theories, the approximating theories, the reduction of a theory to another one, the progress of theories.

The case-study of classical chemistry presents apparent difficulties; they are taken as instances of the general bounds of the structuralist approach of which a reformulation is suggested.

1. Nuova storiografia e fondamenti della chimica

Da alcuni decenni gli studi sui fondamenti della scienza hanno mostrato che la scienza ha un linguaggio che non è neutrale. Anche la storia della scienza è cambiata radicalmente, passando da un atteggiamento essenzialmente positivista ad un atteggiamento meno restrittivo che sappia cercare di risolvere il problema che col positivismo è rimasto insoluto: ricostruire razionalmente i principali eventi della storia della scienza moderna.

Alla insegna dello slogan «la storia della scienza senza la filosofia della scienza è cieca; la filosofia della scienza senza la storia della scienza è vuota», la

(*) Gruppo di Storia della Fisica, Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli.

(**) Relazione presentata al VI Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Cagliari, 4-7 ottobre 1995).

storia della scienza ha rotto la separazione positivista tra scienza e filosofia. Cosicché le varie storiografie hanno suggerito implicitamente vari abbozzi di concezioni dei fondamenti della scienza. Decisivo per il cambiamento è stato il contributo di A. Koyré sulla storia della nascita della scienza moderna, come pure quello di T. S. Kuhn sulla storia della fisica classica. Ma non si è trovato un accordo su qualche concezione; gli elementi filosofici introdotti nelle varie storiografie hanno fatto temere, per la concezione dei fondamenti della scienza, una caduta nella irrazionalità.¹

Anche per reazione a questo pericolo, e quindi per difesa della oggettività della scienza, è stata molto rilevante una nuova concezione che ha proposto di descrivere le teorie fisiche mediante le affermazioni non del linguaggio naturale, ma con un linguaggio neanche della logica matematica (come è nel caso del neopositivismo logico), ma solo matematico (la «non-statement view of science»). Il che naturalmente è possibile solo per una parte della teoria, quella che però può essere ritenuta la più importante, tanto da essere chiamata «la struttura» della teoria stessa. Per questo motivo i fondatori di questa concezione l'hanno chiamata «strutturalista».² Essi l'hanno basata su una particolare teoria matematica, quella che più pretende di rappresentarne la parte più avanzata ed efficace della matematica tutta, la teoria degli insiemi. Inoltre essi hanno preteso di innovare anche rispetto alla logica matematica, proponendo una maniera di assiomatizzare una teoria fisica che è sicuramente meno astratta, perché dichiaratamente finalizzata alle applicazioni, che fanno parte costitutiva della teoria.

A vent'anni dalla nascita, questa concezione può vantare una ampia letteratura. La estensione delle sue applicazioni (che arrivano alla economia — anche di Marx —, e alla psicoanalisi) non è pari alla sua profondità di interpretazione, né alla sua adeguatezza alla esperienza storica della scienza. Ma ancor oggi essa rappresenta per molti il tentativo di studio più rigoroso e più promettente sui fondamenti e sulla storia della scienza.³

D'altra parte la teoria chimica non ha uno statuto epistemologico accettato universalmente. Per la filosofia positivista la chimica era una teoria molto impor-

¹ Una sintesi di questa problematica è il libro di F. CHALMERS, *Ma che cos'è questa scienza?*, Mondadori, 1979.

² L'origine è riconosciuta in J.D. SNEED, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, 1971.

³ Come riferimento più autorevole si può prendere il libro di W. BALZER, C.U. MOULINES, J.D. SNEED, *An Architectonics of Science*, Reidel, 1987 che però è molto complesso e formalistico. Per altre introduzioni, molto rapide e abordabili anche da un lettore a digiuno dello strutturalismo, vedi quella (in italiano però datata), di M. Alai (1986), oppure quelle di Kuhn (1975), Stegmüller (1990), Rantala (1991) (le indicazioni delle quali, come anche farò nel seguito, sono nella bibliografia di W. Diederich, A. Ibarra, T. Mormann, «Bibliography on Structuralism», *Erkenntnis*, 30 (1989), 387-407, 41 (1994) 403-418) più quella di N. da Costa: «Review» del libro precedente, in *J. Symb. Logic.*, 59 (1994) 691-3.

tante perché chiaramente empirica; ma nello stesso tempo era senza grande valore teorico perché mancante della matematica avanzata.⁴ Per di più, la chimica classica si è successivamente sviluppata nella chimica-fisica, che è sembrata subordinarla alla termodinamica; e ora essa viene considerata dai più come definitivamente inclusa nella meccanica quantistica.⁵

Sono forti le resistenze dei chimici a questa perdita di identità a favore di teorie fisiche. Ma che cosa possono rispondere a chi considera la teoria chimica come una «non teoria», o come una teoria «immatura», o come una teoria già ridotta a un caso particolare di teorie più generali? Come fare a sostenere una sua radicale diversità, o addirittura incommensurabilità, rispetto alle teorie che la vorrebbero già inclusa? Evidentemente occorre riferirsi ad una concezione accreditata dei fondamenti della scienza. Siccome per molti studiosi la concezione più avanzata sarebbe proprio quella strutturalista, allora bisogna confrontarsi con questa concezione, tanto più che essa pretende di aver «spiegato» anche la teoria chimica con un suo schema interpretativo. Credo che lo sforzo di studiare e discutere questa concezione sia utile; perché i confronti fanno sempre crescere, tanto più quando si tiene conto delle direzioni di lavoro che nella filosofia della scienza ricevono molti consensi.

Però questa concezione si presenta nella maniera meno attraente possibile per un chimico, perché il suo studio presenta varie difficoltà. Essa considera le teorie traducendole in apposite assiomatiche, il che è inusuale per i chimici. Queste assiomatiche si basano sulla teoria degli insiemi, una matematica che non ha ragione di essere usata in chimica. In esse hanno un ruolo cruciale dei temi un po' specialistici di filosofia della scienza. Inoltre il suo programma è posto come onnicomprensivo su tutta la scienza e quindi obbliga a studiare un insieme molto ampio di teorie, dalle classiche alle moderne. Per di più il percorso ventennale dello strutturalismo presenta più versioni, a causa delle critiche ricevute. Tutto ciò rende faticosa la sua comprensione da parte anche dei non chimici, tanto da portare lo studioso e lo storico comune a limitarsi ad averne una conoscenza solo approssimativa o a ritagliare a priori una piccola parte della numerosa bibliografia sull'argomento.

Nel seguito, ponendomi al livello di una prima introduzione mi sforzerò di rendere più semplice possibile la presentazione della concezione strutturalista e la discussione del suo rapporto con la chimica.

⁴ Classica è rimasta la valutazione data da A. COMTE, *Cours de Philosophie Positive*, Soc. Positiviste, Paris (vol. 5), 1982.

⁵ Così la chimica è presentata da ogni libro di chimica quantistica.

2. Storia e sintesi dello strutturalismo

In letteratura esiste già un inquadramento storico dello strutturalismo. Per comodità del lettore lo sintetizzo nella tabella 1.

Piuttosto occorre particolare attenzione per acquisire una descrizione sintetica della concezione strutturalista di una teoria.

«Stegmüller spiega che la moderna filosofia della scienza ha davanti a sé un dilemma: ci è necessaria una ricostruzione razionale delle teorie scientifiche, ma questa sembra tuttora impossibile. Di solito la filosofia della scienza considera le teorie scientifiche come insiemi o sistemi di affermazioni; e assume che le nostre riflessioni filosofiche debbano concentrare lo studio sulle relazioni logiche tra gli elementi di quegli insiemi. Ma questa rappresentazione di una teoria mediante le sue affermazioni presenta difficoltà insormontabili ed è del tutto inadeguata per spiegare la dinamica temporale delle teorie scientifiche nel periodo moderno. Suppes ha proposto di sostituire questo approccio metamatematico e micrologico con quello matematico», (Kochelmans 1987, p. 136) e, più precisamente, con quello della matematica ritenuta la più avanzata, la teoria degli insiemi.

L'idea base degli strutturalisti può essere riformulata in termini intuitivi ed attraenti come il tentativo di schematizzare «le teorie scientifiche per come esse vengono presentate agli studenti e da essi sono poi utilizzate» (Kuhn 1975, p. 292);⁶ cioè: la sostanza dei libri di testo, la pratica didattica e la pratica delle applicazioni.

«L'unità fondamentale dell'architettura (risultante) è il concetto di *elemento-teoria*, che rappresenta una teoria scientifica in un senso locale e parziale (ad es. la meccanica della particella classica, cioè essenzialmente la sola seconda legge di Newton). Ogni elemento-teoria comprende una parte teorica, che è detta il *nucleo (K) della teoria* (cioè la struttura concettuale e le leggi fondamentali della teoria); e una parte che rappresenta i fenomeni ai quali si sa di poter applicare la teoria, detta il *dominio delle applicazioni (I)*.

La parte teorica (*K*) comprende grosso modo quello che di solito viene chiamato «la teoria» (ma, come vedremo, è più complesso di essa). La seconda parte (*I*) rappresenta l'idea di considerare come sua parte organica certe applicazioni della teoria» (Rantala 1991, p. 298-9). Così Kuhn (1976, p. 292) spiega le applicazioni: «Nel caso della meccanica classica le applicazioni possono essere i problemi del moto planetario, dei pendoli, della caduta libera, delle leve e delle bilance, ecc. (C'è bisogno di sottolineare che apprendere una teoria significa apprenderne una serie opportuna di applicazioni; e che aver capito una teoria suggerisce la comprensione di altre teorie?)».

⁶ È probabile che proprio questo aspetto abbia convinto Kuhn (1975) ad aderire al programma strutturalista. Vedasi anche Sneed (1979), pp. 10-14.

TAB. 1 - *Storia dello strutturalismo* (Niilinuoto, 1980).

- 1879 *Frege* (poi *Peano* e *Russell*): interpretare la matematica con le sole formule matematiche e logiche!
- 1920 ~ *Hilbert*: metamatematica come matematica sulla matematica. Assiomatizzare tutta la matematica!
- 1920 ~ *Neopositivisti logici* (*Carnap*, *Neurath*, *Hempel*): assiomatizzare ogni teoria empirica con la logica, aggiungendo delle regole di corrispondenza con la realtà empirica!
- al 1970: a) Tardo positivisti in crisi (*Hempel*, *Braithwhite*);
b) neo-logicisti (*Hintikka*) sui fondamenti della matematica;
c) assiomatici mediante un predicato (della teoria degli insiemi), che dà le applicazioni della teoria. *Mc Kinsey*, *Sugar* e *Suppes* (1953): meccanica della particella; *Adams* (1959): meccanica dei corpi rigidi;
d) teorici dei complessi di teorie: il modello di rete globalistica (*Quine*), il paradigma (*Kuhn*), il sistema concettuale (*Toulmin*), il programma di ricerca (*Lakatos*), il dominio scientifico (*Shapere*), la tradizione scientifica (*Laudan*);
e) scettici dell'assiomatica.
- 1971 *Sneed* distingue in modo originale i termini teorici di una teoria; distingue tra nucleo formale della teoria e applicazioni (= modelli); suggerisce i vincoli delle applicazioni.
- 1973 *Stegmüller* lancia il programma strutturalista.
- 1975 *Kuhn* aderisce.

Teorici principali: *Sneed*, *Stegmüller*, *Balzer*, *Moulines*.

Slogan: «Assiomatizzare è definire un predicato di teoria degli insiemi [il quale racchiude tutta la teoria degli insiemi e le sue applicazioni e] che afferma che almeno un modello M_{pp} della teoria appartiene alle applicazioni I della teoria stessa».

Poi dopo, «gli elementi-teoria sono considerati in collegamento con altri elementi-teoria, invece che individualmente. Il loro collegamento è dato non dalle applicazioni, che sono separate tra loro, ma dai legamenti interteoretici: essi collegano gli elementi-teoria in modo da formare *reti di teorie*. Per esempio, una rete di questo tipo dovrebbe rappresentare la meccanica classica della particella intesa in un senso ampio» (Pearce 1977, p. 352). Allora una intera teoria è rappresentata come «un aggregato di teorie-elementi interconnesse tra loro, ma

tutte con la stessa struttura» (Balzer *et al.* 1987, p. 167). Se ad es. alla legge di Newton aggiungiamo la legge di Hooke (che comporta non nuove leggi, ma solo nuovi vincoli e nuovi legami), si ottiene un legame tra due teorie-elementi, che viene detto una *specializzazione*. Ci sono anche altre relazioni tra teorie-elementi, ad es. la *riduzione* di una teoria ad un'altra.

Infine i rapporti tra reti di teorie diverse sono chiamati rapporti intrateoretici. Componendo alberi di teorie si possono ottenere *teorie-complessi* e *teorie-globalità*. Con queste reti di teorie si possono interpretare le storiografie della scienza, qui dette metateorie, di Kuhn e di Lakatos. Cioè la concezione strutturalista si propone di ricostruire più che la storia della scienza, una dinamica di passaggi tra una teoria e l'altra attraverso relazioni di riduzione, generalizzazione o unificazione. Ma molto spesso occorrono in più la relazione di approssimazione tra teorie e la relazione di caso limite, perché spesso le altre relazioni esatte non sono valide. Con tutto ciò si è programmato di ricostruire formalmente le relazioni tra tutte le teorie fisiche; ed essendo queste datate nella storia, ricostruire la dinamica di tutta la storia della fisica.

Ora introduciamo dei concetti che ci faranno precisare questa sintesi molto generale con un minimo di specificazioni.

Il nucleo K di una teoria-elemento contiene varie sottostrutture. Per prima «l'insieme dei modelli potenziali M_p che rappresenta lo schema concettuale della teoria, M è l'insieme (sottinsieme di M_p) dei modelli che rappresentano i sistemi effettivi» (Rantala 1991, p. 300). Però questo insieme M_p non può essere confrontato direttamente con la realtà empirica al fine di una verifica, perché contiene dei termini teorici [ad es. in meccanica: la forza dinamica, la massa, il concetto di atomo nel 1800] che non trovano corrispondenza diretta con la realtà stessa e quindi renderebbero circolare la verifica suddetta. Allora si considera « M_{pp} l'insieme di tutti i possibili modelli parziali (un sottinsieme di M_p) che rappresenta le 'leggi' [empiriche] di T » (Pearce 1977, p. 352). Quindi M_{pp} rappresenta tutta la struttura di T , ma non la sua parte teorica astratta; grossolanamente: quella empirica. Fino a Sneed, «*termine teorico*» era un termine non osservabile direttamente. Con Sneed la definizione è stata relativizzata alla teoria-elemento, cioè senza far più riferimento alla osservabilità generica. Più precisamente *un termine è teorico* quando la sua verifica richiede lo stesso modello teorico al quale appartiene. Poi Gaedhe (1983) ha notato che la definizione di questi termini deve considerarli insieme.⁷ (Ma comunque, i termini in questione sono in gran parte gli stessi secondo le diverse definizioni).

Commenta Kuhn (1975, p. 291): «Primo, gran parte della istruzione scienti-

⁷ DIEDERICH, «The development of structuralism», *Erkenntnis*, 30 (1989) 363-386 è una analisi critica del problema filosofico sollevato dallo strutturalismo (termini teorici) come pure dei suoi risultati. Lo indico specificamente perché a quella tematica, troppo complessa per la natura di questo articolo, dedicherò poco spazio.

fica, o almeno quella della fisica, è l'insegnamento ad uno studente su come passare dai modelli potenziali parziali ai modelli parziali. È per questo che ci sono i laboratori e, alla fine di ogni capitolo del libro di testo, i problemi. Capita spesso che uno studente sappia risolvere i problemi che sono presentati con equazioni, ma non sappia ricavare le equazioni necessarie per i problemi che sorgono in laboratorio o espressi a parole; costui non ha il talento di compiere il passaggio suddetto. Secondo, e quasi come corollario, un criterio col quale si possono distinguere i grandi scienziati da quelli mediocri è quello della immaginazione creativa necessaria per trovare un M_p che corrisponda a un M_{pp} non usuale (ad esempio una membrana vibrante o una corda vibrante, prima che queste diventassero applicazioni normali della meccanica di Newton). Terzo, siccome non si è fatta attenzione a come si esegue questo compito, allora per anni non si è capita la natura del problema di quale sia il significato dei termini teorici».

Introduciamo inoltre la *funzione r*. Essa è la funzione che in ogni modello $x \in M_p$ cancella la componente corrispondente ai termini teorici in T . «Formalmente l'insieme M_{pp} è definito come $r[M_p]$; i suoi elementi sono pensabili come le applicazioni potenziali della teoria; quindi l'insieme I delle applicazioni è una sottocollezione di M_{pp} » (Pearce 1982, p. 390).

C'è poi il concetto di *legame interteoretico*. Ad es., la meccanica della particella ha bisogno della geometria analitica e del tempo, che le vengono dati dalla cinematica, che li ha già formalizzati; cosicché le due teorie restano così collegate.

Infine la presentazione di C , l'insieme dei *vincoli*. Questo concetto è un po' più difficile da spiegare e non è essenziale al seguito. Basti un esempio: se applichiamo la teoria della gravitazione al sistema Terra-Luna e poi al sistema Terra-Sole, la massa della Terra è vincolata ad essere la stessa in ambedue i casi. In questo modo, quelli che di solito vengono visti come gli assiomi della teoria, ora sono diventati delle condizioni definitorie del predicato T , quello che applica la teoria K ad una situazione concreta di I .

Non definisco le tantissime relazioni interteoretiche inventate dagli strutturalisti; occorrerebbe uno studio specifico e per il seguito non ci serviranno.

Allora, possiamo dire che $T \equiv \langle K, I \rangle$. E «applicando questo predicato ad una situazione concreta c_i (indicata con un nome o una notazione specifica) in cui le funzioni non teoriche [formule delle leggi] sono sostituite da elementi precisi f_j , otteniamo « c_i è una T », e diciamo che essa descrive la i -esima applicazione di T . Se c_i è una particolare situazione che contiene Giove, allora f è la posizione, le f_j sono le posizioni del primo, secondo, ... j -esimo elemento della situazione, compresa la posizione di Giove» (Feyerabend 1977, p. 352).

Il tutto cioè porta alla fine ad affermare che $I \in A(E)$, dove I è l'insieme dei modelli ed E è una opportuna espansione del nucleo della teoria con in più i vincoli ed A è la funzione che dà le applicazioni di E .

Nella Tab. 2 dò una sintesi anche grafica di tutto lo schema interpretativo degli strutturalisti.

TAB. 2 - Rappresentazione della concezione strutturalistica.

TEORIA - ELEMENTO

Una teoria-elemento (primi costrutti teorici riferibili autonomamente alle applicazioni: meccanica della particella, legge di Hooke, legge del pendolo, gravitazione) è $T \equiv \langle K, I \rangle$.

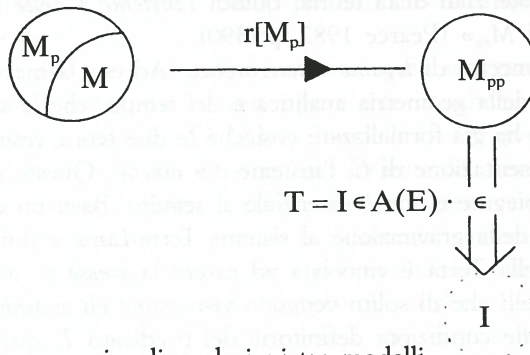
K = nucleo

I = dominio delle applicazioni

N.B. Le applicazioni sono descritte dalla teoria e ne fanno parte integrante!

- (K) M_p = modelli possibili dello schema concettuale della teoria.
 M = modelli effettivi anche delle leggi della teoria.
 M_{pp} = Modelli possibili parziali (senza termini teorici; rappresentano il contenuto empirico della teoria).

- (I) applicazioni intenzionali (non completamente formalizzabili) $\subseteq M_{pp}$



PRETESA EMPIRICA DI UNA TEORIA: c'è un predicato per cui si afferma che un modello x di M_{pp} appartiene alle applicazioni I .

Lo studente studia casi teorici, cioè M_{pp} , e ci fa esercizi per giungere a M_p .

Lo scienziato creativo trova un M_p sulla base di una struttura non teorica M_{pp} .

UNA RETE DI TEORIE-ELEMENTI (mediante le relazioni di riduzione, specializzazione, approssimazione, ecc.) dà una teoria usuale.

RAPPORTI INTRATEORIE: dinamica delle teorie (non incommensurabili).

RISULTATI DEGLI STRUTTURALISTI: fisica classica, chimica, Jacobson, Marx, Freud.

3. La questione della riduzione e della incommensurabilità di due teorie

Tra tutte le relazioni possibili tra teorie-elementi o tra complessi teorici in genere, quella di *incommensurabilità* è stata considerata da molti un banco di prova della concezione strutturalista delle teorie scientifiche; sia perché questo concetto era già famoso come il concetto centrale delle teorie di Feyerabend e di Kuhn; e quindi la concezione strutturalista doveva verificarsi su di essa; sia perché gli strutturalisti tendono a collegare sempre più teorie tra loro, mentre l'eventuale validità della incommensurabilità impedirebbe così tanti collegamenti.

Nell'accezione letterale (e anche in quelle poco precise di Feyerabend e Kuhn) la incommensurabilità di due teorie significa «la mancanza di metri di misura a comune» tra di esse; il che però non implicherebbe la incomunicabilità e la intraducibilità. I pochi esempi storici dati dai due autori non hanno chiarito molto bene il concetto. Gli strutturalisti, da parte loro, sono passati attraverso diverse definizioni di incommensurabilità; comunque, lo hanno fatto partendo sempre dal concetto positivo di riducibilità di una teoria all'altra.

Vediamo allora il concetto di *riduzione*. Questo era stato definito già da altri in varie maniere, ma soprattutto come deducibilità delle affermazioni (leggi) della prima teoria da quelle della seconda. Invece gli strutturalisti hanno proposto la seguente definizione (che viene riportata qui in termini intuitivi, mentre invece essa viene espressa formalmente nella teoria degli insiemi e non si lascia spazio ad altri linguaggi): una teoria-elemento T è ridotta alla teoria-elemento T^* se ogni applicazione di T è collegata ad una applicazione di T^* e se c'è una funzione che traduce i modelli della prima in quelli della seconda e inoltre si possono derivare, compatibilmente con questa funzione, le leggi dell'una nell'altra, come pure i vincoli, i collegamenti, la struttura concettuale. Come si vede, la funzione non determina tutto, perché anche il confronto delle applicazioni è essenziale, e in più lo è tutto l'apparato assiomatico di vincoli, ecc. Con questo concetto gli strutturalisti hanno considerato ridotte varie teorie; ad es. la cinematica classica o la meccanica dei corpi rigidi alla meccanica classica.

L'idea originaria di Stegmüller (1975, p. 195) era quella di spiegare così tutti i casi di incommensurabilità suggeriti da Kuhn: «Una "vera rivoluzione scientifica", che comporta progresso scientifico, consiste in una teoria T che viene soppiantata dalla teoria T' quando: 1) T e T' sono incommensurabili, 2) T è riducibile a T' ma non viceversa». Cioè, Stegmüller nel suo formalismo di teoria degli insiemi ha voluto spiegare l'incommensurabilità non come assenza di relazione logica tra le totalità delle affermazioni delle due teorie, ma come riducibilità unidirezionale di una dall'altra; questo comporta, in particolare nella storia della scienza, che non ci sono quei salti di razionalità di tipo Gestaltico che sono stati indicati da Kuhn.

Questa definizione però si è rivelata il punto più criticato, in particolare da

Kuhn (1976), Feyerabend (1979),⁸ Tuomela (1979, p. 220), Pearce (1982, p. 392),⁹ da Costa (*op. cit.*, p. 672). Non ne dò un resoconto perché in parte esso si trova nell'articolo di Alai e poi, nel par. 6, riprenderò qualche critica.

4. I problemi dati dalla termodinamica

Già dagli esempi del paragrafo precedente il lettore si sarà accorto dell'attenzione particolare degli strutturalisti alla meccanica e all'astronomia, che è quanto di più distante ci sia concettualmente dalla chimica e dalle successive teorie fisiche.

Se anche può loro restare la speranza di ricostruire un quadro soddisfacente attorno alla meccanica, sicuramente però lo schema strutturalista si è trovato in difficoltà con una teoria fisica classica molto importante, la termodinamica. Ecco che cosa ne dice Balzer nel 1982 (si tenga presente che la relazione interteoretica di «teorizzazione» è definita da Balzer come il passaggio da una teoria T ad una teoria T^+ in quanto a T sono stati aggiunti altri concetti ed anche degli assiomi di natura teorica che legano i nuovi concetti agli assiomi di T):

«Come terzo esempio consideriamo la semplice termodinamica dell'equilibrio (THERM). Secondo Moulines (1975) THERM tratta eventi astratti: gli «stati» dei sistemi termodinamici. Una struttura non teoretica di THERM consiste di un insieme di questi stati assieme ai concetti di volume e pressione, «ricavati» dalla meccanica e il concetto di mole dalla stechiometria. Lo sviluppo o il cambiamento di queste strutture non teoriche è spiegato con i concetti teorici di energia ed entropia (v. Moulines 1975). Intuitivamente la relazione tra C-MECH e THERM sembra anche essa quella di teorizzazione: basta aggiungere le moli come pure le leggi e i concetti specifici della termodinamica a quelli della meccanica. Ma guardando meglio la relazione suddetta, la cosa non è così semplice. Nello schema concettuale della C-MECH (Mc Kinsey *et al.* 1953) la pressione non può essere definita in una maniera diretta e generale. Lo possiamo fare solo all'interno della meccanica del continuo, che così diventa il legame tra le due teorie e la cui teorizzazione dà THERM. Ma neanche questa relazione è abbastanza adeguata perché il concetto di mole non può venire dalla meccanica e in più non è un vero concetto teorico di THERM. Per fare meglio occorre introdurre una seconda teoria di base, la stechiometria, cosicché THERM è una «teorizzazione congiunta» di C-MECH e stechiometria. Ma siccome ancora non c'è in letteratura una ricostruzione strutturalista della stechiometria eliminerò

⁸ Feyerabend (1979) 363 e ss. dichiara che la sua e quella di Kuhn sono solo incommensurabilità tra concetti e non tra mondi interi o tra metodi; ma si oppone a Stegmüller che pretende di aver superato proprio questa prima incommensurabilità.

⁹ A questi risponde Balzer (1985) 255-267 e poi, su questa base, Stegmüller (1986).

questa teoria come anche il concetto di teorizzazione congiunta» (Balzer 1982, p. 260-261).

Comunque, successivamente (1987) gli strutturalisti hanno preteso di aver superato le difficoltà assiomatizzando la termodinamica. Non mi ci dilungo perché ciò richiederebbe troppo spazio.

5. Come viene formalizzata la chimica

Vediamo piuttosto come sia stata tenuta in considerazione la chimica. Noto che in tutta la letteratura strutturalista quasi mai la chimica viene considerata. Entra in gioco solo come stechiometria e solo recentemente come tabella di Mendeleieff; oppure nella critica di Kuhn. Questi obietta che dal punto di vista della nuova teoria lavoisieriana tutti i precedenti nomi delle sostanze vengono cambiati, per cui gli strutturalisti dovrebbero precisare ulteriormente la relazione tra M_{pp} ed M_{pp}' , che altrimenti è insufficiente. In realtà la chimica ha rappresentato una grave difficoltà per gli strutturalisti.

Moulines (1979, p. 430-431), che ricostruisce la storia della meccanica da Newton a Laplace (riformulando in parte lo schema teorico) concede alla coesione chimica una fugace presenza nella teoria di Newton; ma già con il periodo euleriano della meccanica, essa scompare, per poi non essere più citata.

Poi è stato Kamlah (1984) a iniziare una ricostruzione della chimica a partire dalla teoria del flogisto. Successivamente gli strutturalisti più autorevoli hanno formalizzato la stechiometria di Dalton (Balzer, Moulines, Sneed, *Erkenntnis* 1987). Dei problemi sono sottolineati e affrontati in un lavoro, di poco successivo, di Lauth (1989). Infine, anche la tabella di Mendeleieff è stata formalizzata (Hettema e Kuipers, 1988). Ed è di questa che voglio parlare un po' diffusamente, sia come esempio concreto della assiomatizzazione strutturalista, sia come indicazione dei suoi limiti di fondo.

Per semplificare l'esposizione ho sintetizzato gli aspetti principali nella tabella 3. Poi mi limiterò ad alcuni commenti.

Si postulano E , m , \sim e z come da tabella (si noti che \sim esprime di più che la valenza chimica). Un modello potenziale x della tavola periodica è definito come la quadrupla lì indicata. Va chiarito che m è un termine sperimentale perché viene fornito dalla legge dei gas, mentre invece z non può che essere un termine teorico (così come lo è stato per la chimica dell'800). Le tre proprietà elencate sono naturali. Si formalizza la Tabella periodica sia alla maniera originale di Mendeleieff (naive periodic Law) sia alla maniera moderna, che è più adeguata ma anche meno semplice.

Tutto questo schema può avere una sola applicazione, la serie di elementi ben nota (senza nemmeno tener conto di isotopi et similia; che non darebbero certamente altre applicazioni, ma casomai delle complicazioni per lo schema

TAB. 3 - La tavola di Mendeleieff strutturalista.

<p>E = insieme di elementi chimici (fissato) $\{e\}$ m = funzione massa atomica $f(e) = m \in R^+$ \sim = relazione di similitudine chimica tra due elementi e ed e'. Classe di equivalenza rispetto a \sim: gruppo chimico z = funzione numero atomico di e x = modello potenziale della tavola periodica ($x \in M_p(PT)$) (PT sta per «Periodic Table»).</p> <p style="text-align: center;">$x = \langle E, m, \sim, z \rangle$</p> <p>$m$ è sperimentale mediante $PV = nRT$; z è un termine teorico</p> <table border="0"> <tr> <td>1) $m(e) < m(e') \leftrightarrow z(e) < z(e')$</td> <td>monotonia</td> </tr> <tr> <td>2) no posti vuoti</td> <td>surgezione</td> </tr> <tr> <td>3) $z(e) = z(e') \leftrightarrow e = e'$</td> <td>iniezione</td> </tr> </table> <p>Naive Periodic Law (Mendeleieff): $e \sim e' \leftrightarrow z(e) - z(e') = 0 \pmod{8}$</p> <p>Sophisticated Periodic Law:</p> <p>i) $(e \sim e') \ \& \ (z(e) < z(e')) \Rightarrow \exists n: z(e') - z(e) = 2n$ $\vee \exists e'': (e \sim e'') \ \& \ (e'' \sim e') \ \& \ (z(e) < z(e'') < z(e'))$ (periodi: 2,8,18,32, ecc.)</p> <p>2) $\forall e \exists e' \exists n: (e \sim e') \ \& \ (z(e') - z(e) = 2n^2) \vee \sim \exists e' : (e \sim e') \ \& \ (z(e) < z(e'))$ $\vee \sim \exists e' : (e \sim e') \ \& \ (z(e) > z(e'))$</p> <p>Applicazione intenzionale: solo una, la serie di E. La pretesa empirica della teoria è che l'applicazione $I \equiv \langle E, m_e, \sim_e \rangle$ con in più il termine teorico z_e, è un modello $\in M(PT)$.</p>	1) $m(e) < m(e') \leftrightarrow z(e) < z(e')$	monotonia	2) no posti vuoti	surgezione	3) $z(e) = z(e') \leftrightarrow e = e'$	iniezione
1) $m(e) < m(e') \leftrightarrow z(e) < z(e')$	monotonia					
2) no posti vuoti	surgezione					
3) $z(e) = z(e') \leftrightarrow e = e'$	iniezione					

dato). Questa applicazione deve essere descritta, secondo i canoni dello strutturalismo, come un modello potenziale parziale (che cioè non ha termini teorici)

$$M_{pp}(PT) = r [M_p(PT)]$$

La *pretesa descrittiva* della teoria così formalizzata è che c'è una funzione misurabile (indipendentemente dalla teoria) m_E e una \sim_E tale che

$$\langle E, m_E, \sim_E \rangle \equiv_{df} s_E \in M_{pp}(PT)$$

dove s_E è una descrizione.

La *pretesa empirica* è che S_E può essere accresciuta da una funzione z_E tale che (s_E, z_E) , è un modello (potenziale $\in M_p(PT)$ ed anche un modello) $\in M(PT)$.

6. *Analisi critica dell'impostazione strutturalista*

Si può criticare la concezione strutturalista *dall'esterno*. Ad esempio, si può osservare che in teoria degli insiemi (al più) si può tradurre solo l'ossatura oggettiva delle formule matematiche di una teoria fisica; ma ogni fisico si rifiuta di restringere la teoria a quella ossatura, se non come strumento di esplorazione parzializzante. In altri termini ci si può chiedere come si possa distinguere nettamente la semantica dalla sintassi della teoria, la quale ultima è l'unica ad essere formalizzata. Ciò non fa sperare che gli strutturalisti possano ottenere risultati decisivi nella interpretazione delle teorie scientifiche.

Inoltre perché scegliere come rappresentativi della teoria K ed I ? Dalla Chiara e Toraldo di Francia scelgono altre strutture.¹⁰

Ma queste critiche potrebbero risultare superficiali; altre critiche invece sono *interne*, cioè accettano a priori l'impostazione strutturalista, ma la portano alle estreme conseguenze.

Che significato è da attribuire al fatto che gli strutturalisti rinunciano alla assiomatica tradizionale e passano ad una loro «assiomatica»? Questa è artificiosa perché gli assiomi ora sono limitazioni di un predicato, il quale fa convergere tutta la teoria sul problema della sua applicabilità. Da molto tempo Beth¹¹ ha avvertito che il modello di scienza apodittica prima e della teoria assiomatica poi hanno costituito un condizionamento della nostra capacità di costruire una teoria scientifica. Egli, come tanti altri che hanno percepito lo stesso problema, non ha saputo vedere una reale alternativa, ma solo una lunga tensione storica a trovarla. In questa stessa tensione io interpreto la «assiomatica alla Suppes», ripresa dagli strutturalisti: cioè, come una maniera di accettare, a causa del teorema di Goedel, il fatto che una teoria assiomatica è essenzialmente insufficiente nel rappresentare una teoria scientifica; e quindi cercare di uscire dalla assiomatica classica, al costo di costruire un ideale di organizzazione ibrido. *Questo ideale è ibrido per tre ragioni.*

1) per lo strano ruolo degli assiomi (o principi, che, contrariamente ad ogni tradizione, qui non sono più principi);

2) perché volendo assiomatizzare, poi si appoggia pesantemente sul concetto di modello, che è un'entità globalistica che si riferisce a tutto l'insieme della teoria (mentre invece una assiomatica ricava localmente nuove deduzioni, lungo un percorso che è a priori infinito e quindi incontenibile dalla nostra ragione);

3) ma soprattutto perché è chiaro che il sistema risultante è basato su un problema generale e cruciale (quello della verificabilità-applicabilità); problema

¹⁰ M. DALLA CHIARA, G. TORALDO DI FRANCIA, *Le teorie fisiche*, Boringhieri, Torino 1981.

¹¹ W.E. BETH, *Foundations of Mathematics*, Harper, New York, 1959, cap. I, 2 (purtroppo tagliato dalla edizione italiana).

che non ha senso in una assiomatica pura. E non ha un senso pregnante nemmeno in ogni teoria scientifica. Perché tra le teorie scientifiche molte sono già fondate su un problema generale e cruciale: la meccanica del principio dei lavori virtuali, la termodinamica di Sadi Carnot, la teoria della computabilità, ecc.; e soprattutto la chimica classica, la quale è certamente fondata su un problema, quello della divisibilità al finito della materia. Quest'ultimo è un problema generale e cruciale che è ben più specifico del problema generico della verificabilità posto dalla «assiomatica» degli strutturalisti. I quali, con il loro approccio che preconstituisce rigidamente e univocamente il problema della teoria, debbono necessariamente annullare il problema specifico della teoria. Infatti, in particolare, debbono porre l'insieme degli elementi come già concluso. Con ciò essi svuotano di interesse epistemologico la chimica, irrigidendo la teoria in un quadro di meri risultati empirici di un metodo che è del tutto scomparso.

In altri termini, nella chimica, che non può essere ridotta alla sola stechiometria, la tavola di Mendeleieff è di importanza teorica cruciale, perché esprime un teorema di completezza (o di universalità della teoria rispetto al campo dei fenomeni considerato): infatti due elementi sono stati scoperti proprio perché la tavola aveva due posti vuoti. Il fatto che essa venga ridotta dagli strutturalisti a una funzione su un numero a priori finito di elementi, significa toglierle ogni valore previsionale e quindi ogni teoreticità.

Questa incapacità degli strutturalisti di dar conto della organizzazione basata su un problema, nonostante il loro aver abbandonato la assiomatica pura, ha un'ulteriore conseguenza negativa, già avvicinata dalla critica di coloro che hanno obiettato al *tipo di logica* da loro utilizzata.

Incominciamo da Pearce (1982) e Rantala (1991), i quali osservano che ciò che è vero in una logica del primo ordine (cioè senza quantificatori sui predicati) può non essere vero in una logica del secondo ordine; in particolare ciò che è incommensurabile secondo Stegmüller nella prima logica, nella seconda non lo è più; e allora le teorie considerate si fondono tra loro. Stegmüller ha rifiutato l'obiezione argomentando filosoficamente. Comunque ancor più incisiva è la critica di Costa che obietta che la meccanica quantistica richiede la logica non classica, la quale certamente non rientra nello schema degli strutturalisti. Secondo me anche altre teorie fisiche usano la logica non classica,¹² e quindi quel problema si pone in generale, non solo per la particolare teoria della meccanica quantistica. In particolare si pone per la chimica classica, che ha sempre fatto uso di frasi tipiche della logica non classica.¹³

¹² A. DRAGO, «An effective definition of incommensurability», in C. Cellucci et al. (eds.): *Temî e prospettive della logica e della filosofia della scienza contemporanee*, CLUEB, Bologna 1988, vol. II, 117-120.

¹³ A. DRAGO, «History of the relationship Chemistry-Mathematics», *Fres. J. Anal. Chem.*,

Inoltre noto che dal 1967 la matematica costruttiva ha saputo ripetere gran parte del corpo delle conoscenze matematiche, pur avendo escluso l'uso dell'*infinito in atto* implicito in tante definizioni (ad es. quelle classiche di numero reale) e assiomi (ad es. quello di Zermelo) della matematica classica, e quindi della teoria degli insiemi. Anche nella teoria elementare degli insiemi il predicato di appartenenza \in può sconfinare nell'infinito in atto;¹⁴ perciò il predicato base degli strutturalisti è molto impegnativo, perché la distinzione tra i due tipi di infinito può cambiare radicalmente i fondamenti della teoria degli insiemi. In più, la teoria più considerata dagli strutturalisti, la meccanica newtoniana, non solo usa dei concetti che includono l'infinito in atto, come lo spazio e il tempo assoluti, l'idea di corpo perfettamente duro, l'inerzia come moto perpetuo; ma soprattutto ha equazioni differenziali che hanno soluzioni fisiche in maniera differente a seconda del tipo di matematica che si usa. Forze discontinue (impulsi) e illimitate (valore infinito della forza centrale nel centro del campo) danno luogo a problemi di indecidibilità che rendono insuperabile la differenza tra meccanica con matematica classica o con matematica costruttiva.¹⁵ E chiaramente il formalismo degli strutturalisti non sa distinguere un tipo di infinito dall'altro.

Infine gli strutturalisti si dimostrano lontani dalla comprensione della chimica per un altro motivo ancora. Occorre tener presente che da venti anni questa teoria ha trovato una matematica avanzata che la rappresenta. Dal tempo del lavoro di Barut del 1976, vari studi hanno precisato il gruppo di simmetrie che rappresenta tutti gli elementi e la loro periodicità.¹⁶ Una volta che la chimica fosse rappresentata da un gruppo di simmetria, come potrebbero gli strutturalisti rappresentarla evitando l'incommensurabilità con la precedente rappresentazione?

7. Una proposta di riformulazione dello strutturalismo

Su un punto credo di essere d'accordo con gli strutturalisti: la storia della scienza e la filosofia della scienza devono superare la maniera soggettiva di studiare la scienza, cioè mediante concetti e metodi solamente intuitivi. Ho espresso questa tesi come risultato di uno studio su tutte le categorie storiografiche finora presentate.¹⁷

337 (1990) 220-224; «Atomism and the reasoning by non-classical analysis», *Proc. Conf. Proust*, Segovia 1992 (in stampa).

¹⁴ A. MOSTOWSKY, *Thirty years of foundational studies*, Oxford 1960.

¹⁵ A. DRAGO, «Relevance of constructive mathematics to theoretical physics», in E. Agazzi et al. (eds.): *Logica e filosofia della scienza oggi*, CLUEB, Bologna 1986, pt. II, 267-272 (riassunto in *J. Symb. Logic*, 52 (1987) 316).

¹⁶ A. DRAGO, A. PIROLO, «Simmetrie in chimica: una rifondazione?», in G.B. Marino (ed.): *Atti V Conv. Storia e Fondam. Chimica, Acc. Sci. XL*, Roma 1994, 127-138.

¹⁷ A. DRAGO, «Una caratterizzazione strutturale delle storiografie della scienza», in A. Rossi

Ma come procedere con un atteggiamento «strutturale» sui fondamenti della scienza? Qui indicherò alcuni punti sulla base della esperienza teorica della chimica, considerata come decisiva nella storia della scienza teorica.

1) Innanzitutto lasciar cadere il privilegio dato alla teoria degli insiemi; la quale, se non è «una malattia» dei matematici, così come diceva Poincaré, comunque è solamente una particolare teoria della matematica tutta, purtroppo finalizzata a considerare solo l'infinito in atto, che in chimica non ha ragion d'essere.

2) Comunque, è giusto prendere in considerazione solo le teorie scientifiche che sono matematizzate. Ma sia ben chiaro che di fondamenti della matematica ce ne sono almeno due, quelli classici che includono l'infinito in atto e quelli costruttivisti che lo escludono, così come ci ha insegnato l'esperienza storica della chimica che si è ristretta a quasi solamente i numeri interi (senza per questo perdere in generalità o in universalità) e così come ci ha insegnato la termodinamica, che per questa scelta è stata sempre considerata sottosviluppata dai filosofi della scienza che avevano in mente le equazioni differenziali con gli infinitesimi in atto. E tra i due tipi di fondamenti c'è incommensurabilità. Di conseguenza, la rete strutturalista delle teorie viene inevitabilmente spezzata in più reti distinte (senza più bisogno di sofisticare all'inverosimile, come fanno oggi gli strutturalisti, le relazioni interteoretiche che vorrebbero assorbire ogni distanza interteoretica). Non per questo la risultante dinamica della scienza è meno interessante; anzi, presenta un pluralismo e una conflittualità interteoretica che sono tutte da esplorare; il che darà finalmente conto della storia strutturale della chimica, senza più ridurla ad altre teorie maggiormente sofisticate nella matematica.

3) L'idea dell'assiomatica di Suppes e degli strutturalisti ha un pregio, quello di finalizzare tutta la teoria assiomaticizzata ad una predicato, così come è stata finalizzata sin dall'origine la teoria chimica: «Non è vero che la materia è divisibile all'infinito». Ma mentre il predicato degli strutturalisti è generico e in definitiva banale («la teoria è sperimentabile»), quello della chimica (e della termodinamica di S. Carnot e della teoria delle parallele di Lobacevsky) è specifico per la particolare teoria che si sta considerando; e per di più è una frase doppiamente negata che segue la logica intuizionista ($--A \neq A$). Ma allora non abbiamo più una organizzazione che possiamo chiamare assiomatica, ancorché essa resta deduttiva in ampie parti; perché da una doppia negazione non è possibile derivare alcunché, se non teoremi per assurdo (così come fa la termodinamica). Allora bisogna riformulare l'ideale della organizzazione della teoria, non più come assiomatica, ma così come la teoria chimica che si organizzò sin dal tempo di Lavoisier, in quella forma ideale che ho chiamato problematica (o

basata su un problema), proprio riflettendo sulla teoria chimica come suo miglior esempio.¹⁸

4) I termini teorici non sono definiti chiaramente; lo si vede anche in Balzer *et al.* (1987, p. 52-53); ad es. il concetto di forza viene dichiarato teorico in meccanica (e molti avrebbero da controbattere), ma poi scompare nel caso della teoria di Lagrange qui esso ha perso il suo carattere metafisico di forza-causa e quindi dovrebbe essere dichiarato non teorico. Le modifiche suggerite da Gaedhe, se portate alle estreme conseguenze, risultano in un «mostro» (Diederich 1989, p. 373). In effetti, quando si usano i modelli, occorrerebbe ricordare che una teoria dà luogo anche ai modelli non standard. Questi, secondo lo studio di L. Carnot sull'analisi infinitesimale,¹⁹ nascono con delle aggiunte al sistema originario; queste aggiunte sono «esseri di ragione» (cioè termini teorici) o no a seconda che si segua il metodo analitico (cioè l'ideale assiomatico) o il metodo sintetico (cioè l'ideale di organizzazione problematica, che è finalizzata a trovare un metodo che risolve un problema universale). Ad es. nella tabella di Mendeleieff l'aggiunta consisterebbe nell'aumentare di uno l'atomo di idrogeno, come sistema originario. L'aggiunta è un termine teorico quando la si consideri come regola di periodicità astratta, da applicare agli elementi; è invece un termine non teorico quando la si consideri come massa atomica da aumentare, così come faceva Mendeleieff.

¹⁸ A. DRAGO, «La chimica classica come esempio di teoria organizzata in un problema centrale», in F. Calascibetta, E. Torracca (ed.): *Atti II Congr. Naz. St. Fond. Chimica*, Acc. Naz. Sci. XL, V, 12, Roma 1987, 315-326.

¹⁹ L. CARNOT, «Note» in *Réflexions sur la métaphysique du calcul infinitésimal*, Courcier 1813, 217-252.