

IL PROGRAMMA STRUTTURALISTA ESAMINATO MEDIANTE IL CASO DI STUDIO DELLA TERMODINAMICA

1. Il programma strutturalista

Dagli anni '60 Suppes ha introdotto una importante novità nella filosofia della scienza. Il concetto di assiomatica, già insufficiente in matematica (a causa del teorema di Goedel) e palesemente inadeguato nelle teorie fisiche[484], è stato modificato. Egli ha osservato che nella scienza, matematica compresa, tutta una teoria viene conclusa da un predicato. Ad es., in teoria dei gruppi si chiude la presentazione del concetto di gruppo dicendo: "Gli elementi dell'insieme S allora formano un gruppo". Perciò Suppes ha lanciato l'idea nuova per cui: "Assiomatizzare è dare un predicato"; il quale, nel caso della fisica, dice che una costruzione teorica è empirica.

Dal 1971 un gruppo notevole (Sneed, Stegmüller, Balzer, Moulines e altri) ha perseguito il programma di riscrivere secondo questa idea tutta la scienza e tutta la sua storia e si è autodefinito "strutturalista".[485] Qui si vuole studiare la rilevanza di questo approccio, sia presentandolo in generale, sia su un caso che appare semplice, quello della termodinamica. In ultimo si darà una valutazione di questo approccio, anche alla luce delle due opzioni fondamentali di una teoria scientifica.[486]

I contenuti del predicato sono strutture matematiche. Il linguaggio matematico scelto è quello della teoria degli insiemi, nella versione bourbakista. In questa teoria il costruito fondamentale è il modello. Si tratta allora di esprimere, tramite il predicato, un confronto tra i modelli matematici (più o meno astratti) della teoria fisica in questione con i modelli (più o meno formali) delle applicazioni della teoria stessa alla realtà.

Ma nei modelli compare il problema di dar conto di concetti poco matematici (come equilibrio termodinamico, reversibilità, principio d'inerzia; gli strutturalisti denotano questi concetti con la parola "termini teorici") o del ruolo speciale di alcune funzioni-leggi fisiche (i tre principi della termodinamica). Il solo linguaggio matematico (al quale ci si è ridotti volutamente) non basta più. Ecco allora la necessità di creare le distinzioni (che vedremo in seguito) tra i modelli, per rappresentare l'attività della fisica teorica nel linguaggio della matematica. Su questo punto il loro programma ha anche saputo porre problemi epistemologici interessanti; vari di essi sono stati risolti secondo il loro approccio.

In effetti gli strutturalisti hanno il merito di aver lanciato per primi un efficace programma che, in maniera matematica strutturale, tratta non frasi o singoli concetti, ma pezzi di teorie alla volta. Con ciò si adotta in fisica quel programma che in questo secolo ha dominato, col formalismo, lo studio dei fondamenti della matematica e, con il neopositivismo logico, i fondamenti della fisica; e cioè usare un metalinguaggio formale per dare i fondamenti della teoria in esame. Questo programma è globalistico, a priori valido per tutta la fisica, capace di trattare sia i fondamenti che la storia della scienza.

Con ciò gli strutturalisti hanno creduto di essere giunti finalmente ad una "non-statement view" della scienza; cioè ad aver abbandonato il linguaggio naturale, il quale, benché usato da tutti i grandi filosofi della scienza, sarebbe essenzialmente inadeguato a fissare i fondamenti della scienza.

Questa "nuova assiomatica" ha permesso loro di trattare tutta la fisica classica (ma non la matematica, alla quale loro rinunciano (p. XVI)[487]); e in più, superando per la prima volta delle barriere epistemologiche, hanno trattato la psicoanalisi e la economia. In poco più di venti anni di

lavoro essi hanno prodotto una gran mole di letteratura. Per fortuna dello studioso di questo tema, è stata raccolta una bibliografia pressoché esauriente, che arriva fino al 1994.[\[488\]](#) Inoltre nel 1987 i maggiori proponenti dello strutturalismo hanno pubblicato un libro⁴ che ha reso più omogeneo ed adeguato il programma iniziale, anche perché hanno cercato di superare varie critiche rivolte loro. Le recensioni del libro sono state altrettante valutazioni sulla novità di questo approccio e sui suoi limiti.[\[489\]](#) Lì il lettore potrà trovare anche prime introduzioni allo strutturalismo.

Dopo due decenni di grande lavoro gli strutturalisti non hanno però lo stesso spirito giovanile iniziale. Mentre prima le deficienze dello schema venivano giustificate col motivo del "work in progress", ora esse vengono ammesse esplicitamente. La prefazione di *Architectonics* lo dice con chiarezza e con una certa umiltà (p. XI-XIII). Qui si ammette: l'aver avuto ripensamenti, la poca definizione del metodo suggerito, per cui ad es. le applicazioni non sono ben formalizzabili (p. XXIII); si ammettono le distorsioni della semantica delle teorie (p. XVIII-XIX); si accetta che alcune teorie fisiche restino fuori dello schema (ad es. la termodinamica di Carnot-Clausius-Kelvin, che viene definita "pre-scientifica"); addirittura si rinuncia alla stessa bandiera iniziale, quella della rigorosa "non-statement view", per adottare una politica più cauta ed attenta sul linguaggio naturale (p. 17).

Allora la applicazione del loro schema dipende dai problemi su elencati e quindi deve essere adattato volta a volta a seconda della teoria. Né si capisce bene di quanto la novità interpretativa sia dovuta al formalismo e di quanto sia il risultato della loro creatività. Cioè, il metodo non è affatto strutturato in regole da seguire collettivamente secondo una tecnica precisata (v. ad es. a p. XXV i termini pragmatici aggiuntivi). Per tutte queste difficoltà, quello che risulta come loro prodotto non è molto stabile. Né il metodo è così generale da essere indipendente dalla teoria esaminata. In altri termini, la loro interpretazione è soggetta ad ulteriore interpretazione.

Con ciò si dà soddisfazione al diffuso disagio che è generato in molti dall'atteggiamento strutturalista; il quale sembra dar fiducia solo alla megamacchina messa in moto, con un formalismo specifico che non fa molto per accattivarsi le simpatie del lettore, quasi che essi cerchino solo discepoli e non interlocutori. Si aggiunga a ciò che il loro retroterra epistemologico non è molto entusiasmante: esso è solo una uscita tentativa da uno schema assiomatico, che dopo Hilbert non ha mantenuto le sue grandi promesse; e questa uscita è compiuta dando la massima fiducia alla matematica nella scienza, proprio quando si avanza la proposta opposta di una scienza senza numeri.[\[490\]](#)

Ma se anche nel complesso il programma non appare avere delle premesse basilari molto certe, però esso deve essere valutato alla prova dei fatti, nel suo operare concreto. Tanto più che attualmente esistono solo due altri atteggiamenti formali che risultino altrettanto progressivi per lo studio dei fondamenti della fisica: la teoria della complessità e il programma di studio mediante le due opzioni.² Quindi lo strutturalismo oggi appare come un programma di ricerca sui fondamenti della scienza così autorevole da non poter essere svalutato a causa del suo forte grado di formalizzazione o per l'astrattezza dei suoi risultati. Deve essere studiato.

Lo prenderemo in esame per la parte centrale, la struttura del metodo; lasciando invece da parte tutte le questioni più complesse sulle quali essi hanno cercato una verifica esterna del loro metodo: incommensurabilità delle teorie, riduzione e approssimazione tra teorie. Su questi temi gli strutturalisti avevano creduto di aver ottenuto la verifica della novità e della capacità interpretativa della loro assiomatica. Ma le critiche di Feyerabend ed altri hanno contestato questa pretesa e la efficacia di queste critiche è stata ammessa nella maggior parte dei casi (così come riassume un ottimo, seppur datato, articolo di valutazione.[\[491\]](#))

2. Lo schema strutturalista di una teoria scientifica

Tab. RAPPRESENTAZIONE DI UNA TEORIA FISICA DA PARTE DELLA CONCEZIONE STRUTTURALISTA

TEORIA - ELEMENTO

Una teoria - elemento (primo costrutto teorico riferibile autonomamente alle applicazioni (meccanica della particella, legge di Hooke, legge del pendolo, gravitazione) è $T \equiv \langle K, I \rangle$, dove

K = nucleo

I = dominio delle applicazioni

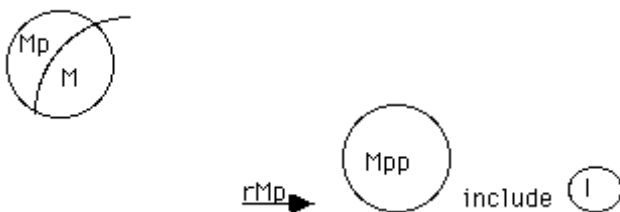
N. B. Le applicazioni sono descritte dalla teoria e ne fanno parte integrante!

Ⓚ è composto da: 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).

Ⓛ rappresenta le applicazioni intenzionali (non completamente formalizzabili) $\subseteq M_{pp}$ $r[M_p]$



$$\varphi_T = [I \in A(E)]$$

PRETESA EMPIRICA DI UNA TEORIA: c'è un predicato per cui si afferma che l'insieme delle applicazioni I appartiene al contenuto di K , cioè ai modelli x di M_{pp} .

KUHN: Lo studente studia M_{pp} e fa esercizi su casi teorici per giungere a M_p .

Lo scienziato è creativo quando trova un modello di M_p sulla base di una struttura non usuale, appartenente a M_{pp}

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

RAPPORTI INTRATEORIE: dinamica storica delle teorie (mai incommensurabili)

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

Per mancanza di spazio qui presento uno schema sintetico che riassume i concetti principali e le relazioni funzionali della interpretazione strutturalista della teoria. [\[492\]](#) Non lo commento, sperando

che esso sia sufficiente per avere una prima idea; poi lo vedremo espresso nel caso particolare della termodinamica.

3. Studio strutturalista della termodinamica

Tra le varie teorie fisiche ho scelto la termodinamica perché essa è stata sempre, nella fisica teorica, la più empirica (o fenomenologica) delle teorie classiche; quindi, è la più adatta per mettere alla prova o rivelare i limiti dell'assiomatica strutturalista.

In effetti in un primo articolo Balzer aveva denunciato delle difficoltà nell'assiomatizzare la termodinamica.[\[493\]](#) Ma poi nel libro *Architectonics* la termodinamica non appare più un problema; anzi, sorprendentemente essa è ben inserita (II 2.1, III 5) a metà della sequenza delle teorie formalizzate, da quelle più semplici, secondo lo schema strutturalista, alle più complesse. Guardando attentamente, si vede che la formulazione di Carnot-Clausius-Kelvin è stata scartata, come pure l'altra famosa formulazione di Carathéodory. Invece è stata scelta una formulazione datata 120 anni dopo la nascita della teoria, quella di Callen;[\[494\]](#) perché, dice Moulines (che l'ha formulata strutturalisticamente[\[495\]](#)), si vuole una teoria che sia la più costituita possibile. Essa non ha né ciclo né teorema di Carnot, ma è basata su una definizione astratta di entropia. Il risultato verrà qui riassunto senza far ricorso al formalismo degli strutturalisti, in modo da facilitarne la comprensione.

Moulines restringe la termodinamica a quella dei sistemi semplici (cioè omogenei, isotropi, ecc.). La parte principale della termodinamica è la SETH ("simple equilibrium thermodynamics"). Questa è composta da un modello potenziale M_p che include l'insieme degli stati Z e in particolare l'insieme E degli stati (detti "fasi") di equilibrio, assieme ad una funzione φ che mappa univocamente gli stati sui numeri reali. Inoltre M_p include il volume V , il numero di moli N_i ($i=1, \dots, n$), l'energia interna U e l'entropia S . Queste ultime a valori anche negativi. (In effetti, questa è la versione di **Architectonics**, non è l'iniziale versione dell'ultima referenza; dove M_p conteneva P ed escludeva U ed S ; le quali ultime venivano date da M come leggi distinte)

Alcune note. 1) Si abbandonano i concetti di spazio e tempo come fondanti qualsiasi teoria; in particolare non si segue la formulazione della termodinamica del continuo (in particolare quella di Truesdell,[\[496\]](#) che è la più matematizzata di tutte, perché usa il tempo sia come grandezza fisica che come parametro su cui differenziare). 2) La teoria viene intesa su tutti gli stati, anche se le leggi sono date sugli stati di equilibrio solamente (la reversibilità è ricavabile, alla Callen, come conseguenza dello schema teorico). 3) La funzione φ è biunivoca su Z , ma e è un intervallo aperto, così come ogni valore di $\varphi(e)$ ("non sono ammessi punti isolati tra gli stati di equilibrio", p. 130; cioè, e rappresenta situazioni che "durano un po'", p. 131; il che serve per usare il calcolo differenziale).

Passiamo ora ai modelli effettivi M di SETH. Uno di essi è ottenuto dando "la legge fisica della teoria", cioè la S come funzione delle altre variabili (funzione di stato); essa è data come funzione "a derivata monotona crescente" sugli argomenti (corrisponde al tipico assioma di Callen). Questa funzione è un a priori; o va bene, o se ne cerca un'altra che vada bene ("essa non specifica niente; essa non è falsificabile"; p. 132), perché solo il predicato dà la verificabilità empirica, non gli argomenti del predicato. Seguono alcuni teoremi, con in quali si dimostra che: 1) il ruolo di S può essere preso da U . 2) La pressione P , ricavata dalla teoria idrodinamica (la cui formalizzazione è però solo ipotizzata), è definita derivando l'energia rispetto al volume. 3) La temperatura (solo quella assoluta) e i potenziali termodinamici vengono ricavati derivando le precedenti variabili.

Passiamo ora ai M_{pp} . Si tratta di decidere quali elementi tra quelli precedenti sono teorici, cioè tali che la loro definizione richiede i concetti della stessa teoria termodinamica. Allora, V è ricavabile dalla geometria e P dall'idrodinamica. S è teorica (ma Planck e Broensted non sarebbero d'accordo,

anche se "storicamente", p. 137, fu così). U appare teorica se legata al calore, non teorica se legata al lavoro meccanico. Se viene presa la U secondo la definizione data da Carathéodory, $dU=PdV$, valida presupponendo pareti adiabatiche, essa dipende da alcuni concetti ("adiabatico" e altri, che però non mi sembrano essenziali) che appartengono a SETH; quindi U è teorica. Infine anche il concetto di "equilibrio" viene dichiarato teorico (essenzialmente perché non bastano i parametri meccanici per definire questo concetto).

In definitiva un modello di M_{pp} si ottiene eliminando questi ultimi tre elementi. Poi dopo, il predicato dice che questo modello appartiene alle applicazioni intese (è la pretesa empirica della teoria).

Con ciò si ottiene un semplice elemento di teoria, la SETH; aggiungendo ad esso altre leggi si ottengono altre teorie-elementi: la NSETH (con in più il principio di Nernst), la BBSETH (con il corpo nero), la PRSETH (con la regola delle fasi), la VSETH (col teorema del viriale); dalla quale possono generarsi la BSETH (con la legge dei gas reali di Berthelot) o la WSETH (con la legge di van der Waals) o la ISETH (con legge dei gas ideali); che a sua volta può dare la MISETH (con la legge dei gas ideali monoatomici). Si afferma che la teoria centrale SETH fa da "paradigma" alle altre. (Si noti il nuovo significato del concetto "paradigma", relativo alle relazioni tra teorie-elementi. Per mancanza di spazio, sull'argomento e su tutto ciò che riguarda i vincoli e i legami interteoretici rimando all'articolo già segnalato⁸). La versione classica della termodinamica corrisponde a tutto il complesso suddetto.

4. Quale rapporto fisica-matematica?

In effetti il metodo strutturalista non indica dei criteri metateorici per assicurare la validità dell'interpretazione (completezza? coerenza? indipendenza?), così come fece Hilbert nel suo programma assiomatico. In altri termini, l'essere risaliti alla metateoria mediante il predicato di validità empirica che assiomatizza la teoria, avrebbe una conclusione corretta solo se portasse a formalizzare oggettivamente quella metateoria. Altrimenti, essa è una maniera di scaricare là il barile dei problemi fondazionali.

A causa di questa incompiutezza, la critica allo strutturalismo è apparsa difficile, perché manca di termini di riferimento, dichiarati una volta per tutte. Cercheremo di ovviare a queste difficoltà con una analisi originale, che cerca di cogliere i problemi fondazionali rimasti irrisolti nello strutturalismo.

Partiti fiduciosi nella potenza esplicativa dell'insiemistica e del Bourbaki, essi si sono dovuti ritirare ad usare la matematica in senso generale. M_p e M , ormai diventati enti intuitivi, in che cosa utilizzano la teoria degli insiemi? Forse la teoria degli insiemi è utile per il trattamento di problemi successivi (le riduzioni e le approssimazioni di teorie), ma non certo per lo schema di base.

Né loro possono sostenere che la fisica teorica deve necessariamente avere la matematica più potente possibile. Usando la quale, in termodinamica, non si rendono conto che le funzioni elementari di SETH, compresa la entropia, possono essere ristrette al campo dei razionali e le loro derivate sono del tutto sostituibili da differenza finite. Gli strutturalisti cioè non fanno attenzione al rapporto fisica-matematica; il quale in una teoria fisica non è affatto univoco. In ciò li ha probabilmente deviati l'aver messo l'enfasi sul bourbakismo, che fa credere che basti potenziare la matematica (in efficienza) per ottenere il massimo dei risultati; mentre invece è chiaro che il bourbakismo precostituisce il rapporto fisica-matematica su una scelta che è particolare, quella della matematica rigorosa e in particolare la teoria degli insiemi.

Essi non si accorgono che si passa ad un altro rapporto fisica-matematica quando si definisce lo stato termodinamico come un infinitesimo (ma Moulines non lo dichiara tale; forse spera che questa

imprecisione gli venga concessa dalla praticoneria che i fisici hanno sempre avuto a proposito di come rappresentare con dei numeri ideali le misure sperimentali). Infatti in SETH Moulines tratta un singolo stato di equilibrio come un "intervallo aperto" (p. 130): chiaramente questo non può rappresentare uno stato termodinamico (d'equilibrio) nella matematica rigorosa, la quale può considerarlo solo come un singolo punto. Quell'intervallo aperto potrebbe invece rappresentare uno stato nella matematica costruttiva, la quale considera ogni punto come intervallo riducibile; ma non è certo questa la scelta degli strutturalisti. Allora resta solo la matematica non standard, la quale si può considerare quell'intervallo aperto come un infinitesimo (così come lo usava Newton e Clapéyron); ma allora esso non sarà mai sperimentabile e il predicato T risulterà inefficace. In più, siccome non è univoca l'estensione di una funzione dalla matematica rigorosa alla analisi non standard, si genera una schizofrenia tra i calcoli su Z , che sono in matematica classica, e quelli su E , che sono di analisi non-standard; è solo dando per assicurato ciò che non è, cioè l'univocità di questa estensione, che si può definire, su E , f^S ed f^U e poi anche dimostrare il teor. T III 9, cioè il passaggio alla "rappresentazione nell'energia".

E' chiaro che avendo deciso questo potenziamento idealistico della matematica, poi si definisce in maniera del tutto matematica la reversibilità, che invece è un concetto altamente sperimentale.

Inoltre si noti che la funzione S è stata definita come un a priori; e se non andasse bene, se ne cerca un'altra. Quello che essi non dicono è che in matematica classica di funzioni ne esistono \aleph_2 (e anche di più, se prendiamo la analisi non standard). Se un fisico dovesse seguirli, dovrebbe solo sperare di aver più fortuna di quella di trovare un ago in un pagliaio. Cioè, si dà per assicurata la buona riuscita di una scelta tra infiniti oggetti: una forma intuitiva dell'assioma di Zermelo, che comporta la matematica con l'infinito in atto (quale è la matematica rigorosa[497]) e, ancor più, la analisi non standard). E' sempre con questo tipo di matematica che si può dimostrare che esiste una funzione inversa (Teor. III 9), anche se non la si sa calcolare; il che rende idealistico tutto lo schema.

Inoltre essi definiscono in maniera pasticciona il minimo di una funzione: questa definizione comporta una operazione infinitaria, e invece è presentata come una semplice disuguaglianza tra i valori di una funzione monotona. L'altro punto rivelatore della mancata scelta del rapporto termodinamica-matematica è il principio di Nernst, che di per sé rappresenta la scelta della matematica costruttiva.[498] Agli strutturalisti esso genera imbarazzo. Provano a svuotarlo di importanza e di significato (p. 191-2), tanto che non lo trattano come un principio; per essi è una "specializzazione" (particolarizzazione) della SETH, anche se la dichiarano "a very general specialization".

In verità, gran parte di queste critiche dovrebbero essere rivolte prima di tutto alla formulazione del fisico teorico Callen e poi agli strutturalisti che l'hanno scelta. Ma è anche vero che chi assiomatizza non può chiudere un occhio su ciò che fanno i fisici, tanto più se questi sono teorici e tanto più su quello che essi fanno in quella matematica che è il fondamento della assiomatica da realizzare. Perché si tratta di capire se in definitiva il predicato T riguarda la verifica con la realtà sperimentale o la verifica con la letteratura corrente di fisica teorica.

5. Quali sono i "termini teorici"? C'è una sola formulazione giusta?

Il risultato del lavoro degli strutturalisti, in prima istanza, è costituito da una teoria elementare ("theory-element"); cioè una prima unità deduttiva che è applicabile alla realtà; essa ha dentro degli elementi teorici che, essendo di natura non operativa diretta, certamente ampliano la teoria più di quanto dicano i dati sperimentali. Ora queste teorie elementari sono in larga misura arbitrarie, perché dipendono da ciò che tra le funzioni e le leggi della teoria noi decidiamo essere un principio. Inoltre ognuna di esse è ben piccola rispetto alle teorie usuali, le quali così si spezzano in tante parti quanti sono i principi essenziali di una teoria. Sono, così come si vede dal lungo elenco delle teorie

elemento della termodinamica, i primi costrutti significativi matematicamente, più che fisicamente.

E' chiaro che quando essi estraggono la parte matematica da una teoria fisica hanno sicuramente caratterizzato in maniera forte almeno una parte cruciale della teoria in questione; essi chiamano questa parte "la struttura" della teoria. Ma se trascuriamo il vestito della domenica del bourbakismo, ci accorgiamo che lo strutturalismo non riesce a ridurre una teoria fisica alla sua matematica, perché restano dei residui fisici, si potrebbe dire; i quali sono molto importanti: 1) la verificabilità di tutto lo schema teorico costruito; e il compito di rappresentare ciò è assegnato al predicato; 2) le leggi (o meglio, i principi) della teoria; esse vengono rappresentate introducendo la distinzione tra M_p ed M ; 3) e infine i termini teorici che sono essenziali per la teoria fisica così come la si conosce; ed essi vengono rappresentati complessivamente dalla distinzione tra M_{pp} ed M_p .

Gli strutturalisti danno quindi tre insiemi di modelli, M_p , M e M_{pp} . Se la loro assiomatica fosse ben definita, ci dovrebbero essere almeno due funzioni matematiche di passaggio da un insieme ad un altro. E invece la relazione tra M_p e M è lasciata nel vago; e pour cause; nessuno può immaginare una funzione che suggerisca quali sono le leggi fisiche di una teoria. Il dire che la scelta della funzione-legge si compie iterando la ricerca fino a trovare le funzioni esatte per la teoria fisica, significa ridurre la fisica teorica al gioco del lotto. A meno che non si vada a formalizzare una teoria già fatta; la quale però resta allora, nella sua versione intuitiva, come sovrastruttura di riferimento essenziale alla struttura formale; e quindi questa ultima non è più autosufficiente.

Resta la relazione tra M_p e M_{pp} (attraverso M). Questa viene dichiarata essere una funzione, r_p . Essa sopprime i termini teorici, in particolare gli argomenti di funzioni stabilite in M ; pertanto è almeno un funzionale. Comunque se da una funzione data porta ad una funzione muta su alcune variabili, o esso è un funzionale banale; ma allora non dovrebbe fuoriuscire dai modelli di M_p ; ed M sarebbe lo stesso insieme di modelli di M_p , solamente modificati leggermente. Se invece ha senso fisico, si noti che esso porta da una totalità, quale è quella rappresentata da un modello di M_p (che non sappiamo bene che cosa sia formalmente), alla totalità rappresentata da un modello di M_{pp} (che sappiamo ancor meno che cosa sia); ma allora è misteriosa. Non ci consola il fatto che l'inversa di r_p "non è in generale una funzione" (p. 57); essa infatti, rappresentando idealmente un processo di induzione, non sarà certo mai riducibile ad una funzione matematica; resta il fatto, piuttosto, che una assiomatica, se fosse completa, dovrebbe formalizzare anche la funzione inversa.

Adesso consideriamo la questione cruciale dei termini teorici. In letteratura esisteva già un'ampia discussione su che cosa sia un "termine teorico". E' stato Ramsey a sottolineare questo concetto; poi Sneed, quando ha ripreso la assiomatica di Suppes, ha ridefinito "termine teorico", non più come quello che in assoluto manca di verifica sperimentale diretta, ma come, quello che per essere verificato richiede la stessa teoria a cui appartiene (Ciò però non è stato conclusivo e nuove definizioni sono state fornite[499]). E' facile obiettare che una decisione di questo tipo richiede la conoscenza di tutte le altre teorie fisiche (anche le future?); solo così ad es. si può decidere se l'energia interna è un termine teorico o no. Questa conoscenza previa non può essere formalizzata a sua volta, pena il regresso all'infinito; quindi deve restare intuitiva[500]. Da qui la antinomia della formalizzazione metateoretica. Inoltre qui ritorna la problematica della "statement view", la quale da una singola parola o frase vuole ricavare anche i problemi fondazionali più generali. Qui la singola parola o frase è stata universalizzata nel singolo concetto di "termine teorico"; ma la natura della difficoltà è la stessa.

I fisici sanno bene che un concetto idealizzato può essere primario in una particolare formulazione di una teoria, ed invece in un'altra formulazione può essere derivabile da altri concetti o essere

sperimentale. Ad esempio: la temperatura assoluta o la massa o la forza. In questa arbitrarietà la matematica chiaramente non può esserci d'aiuto. In altri termini i termini teorici dipendono spesso dai principi e più in generale dalla formulazione. Se ne accorge anche Moulines, quando nota che in termodinamica c'è anche la formulazione di Carathéodory (che, si ricordi, fu la prima a introdurre la matematica avanzata in termodinamica e la prima assiomatica della fisica teorica e pertanto era la migliore candidata per una assiomatizzazione ancor più formale della termodinamica). Ma Moulines preferisce quella di Callen; che, lui stesso nota, è diversa e non è affatto facile dimostrare se sia equivalente all'altra (p. 102). Ma la differenza è chiara: U , che da Moulines viene data come termine teorico, nella termodinamica di Carathéodory è ricavata sperimentalmente dal lavoro su un sistema isolato adiabaticamente, dove "adiabatico" è dato come concetto empirico.

Gli strutturalisti infatti non notano la origine dei termini teorici. Ma noi sappiamo bene da dove vengono i termini teorici in fisica teorica; essi sono:

1) concetti matematici, come il dx della matematica di Newton o la δ di Dirac, o tutte le affermazioni matematiche dove si dice "esiste" senza darne la prova (quindi anche l'esistenza del limite, non sostenuto da un algoritmo, o matematico o operativo). Si può dire che è la scelta della matematica da parte di una particolare formulazione che fa entrare in gioco dei termini teorici nella teoria, o direttamente (assioma di Zermelo) o suggerendo concetti idealizzati (spazio assoluto, corpo perfettamente duro) o suggerendo principi platonici (l'inerzia come moto all'infinito e con misura della velocità infinitamente precisa). Infatti, come si è visto in precedenza nel caso della definizione matematica di stato di equilibrio, è la stessa formalizzazione matematica che introduce i termini teorici. Oppure li toglie. E' così che in termodinamica la geometria non riceve attenzione; da una parte nel fondare la teoria si fa baldanzosamente a meno di essa e del suo concetto di spazio, anche contro il citato, autorevole parere di Kant (p. 129); dall'altra però è usata per trovare una definizione non teorica della grandezza fisica volume. Oppure in chimica la tabella periodica degli elementi viene ricostruita fissando a priori il numero degli elementi; il che va a togliere quel termine teorico che ha sempre reso interessante la tabella, la sua illimitatezza. Quindi la nuova definizione di termine teorico, data dagli strutturalisti, è sì innovativa, ma anche deviante. Essi fanno riferimento solo alle strumentazioni delle teorie fisiche, ma non al tipo di matematiche, che pure generano termini teorici, matematici e anche fisici.

2) concetti idealizzati, come per es. energia interna, spazio assoluto, ecc.;

3) principi di teorie, come la conservazione dell'energia o il principio di inerzia; e in effetti i principi a causa della loro grande sinteticità rispetto alle esperienze che li suggeriscono, molto spesso danno luogo a idealizzazioni; esempi sono le metaleggi o le superleggi, come le simmetrie o l'impossibilità del moto perpetuo, le quali non potranno mai essere provate direttamente per tutti i casi possibili. Infatti in una teoria empirica il punto dolente, sul quale la epistemologia è bloccata da sempre, è se ad es. i principi siano empirici o no, in maniera diretta o in maniera indiretta.

Di fronte a questa varietà di tipi di termini teorici, gli strutturalisti hanno creduto di risolvere così tanti problemi in seconda battuta, confinando il tutto nei termini teorici e pensando di riuscire a decidere in maniera precisa quali essi siano. Gli strutturalisti non hanno strumenti, oltre ad una utopica definizione che sarebbe unica per tutti: un programma che ancora non ha dato il frutto sperato. In realtà, il cumulo dei termini teorici racchiude troppi problemi da poterli risolvere con la sola matematica; perché in essi sta la creatività, specificità, innovatività della fisica teorica rispetto alla matematica.

Tutti i problemi precedenti indicano che la nozione di termine teorico è un ostacolo insormontabile per il programma strutturalista. Ma allora è chiaro che qui c'è un inconfessato grado di arbitrarietà.

6. Concezione assiomatica o concezione strumentalista di una teoria?

Ora osserviamo meglio la proclamata caratterizzazione del metodo degli strutturalisti: l'essere una assiomatizzazione.

In effetti il teorema di Gödel ormai impedisce di considerare una teoria (anche matematica) come tutta racchiusa negli assiomi. La proposta di Suppes, specifica per le teorie empiriche, mantiene però la pretesa di racchiudere tutta la teoria sinteticamente, essenzialmente come argomento di un predicato. Si può chiedere: Suppes ritiene forse che la teoria fisica è meno potente di quella matematica? Evidentemente, no. Quindi egli dà per scontato che comunque la assiomatica è solamente parziale, benché rappresenti comunque degli aspetti importanti della teoria

Il loro costrutto matematico cruciale è quello tipico di una assiomatica classica: il modello. Ma già nell'assiomatica classica questo concetto è molto discusso.[\[501\]](#) Inoltre chi ha mai dimostrato che il cambiamento di concezione della assiomatica, compiuto da Suppes, lascia il concetto di modello immutato? In altri termini, che intendono con precisione per modello gli strutturalisti? Per di più, che significa "modello" di una applicazione intesa? In questo ultimo caso il modello, se fosse realistico, dovrebbe dare allo stesso tempo la empiria e la semantica (p. XXIII, 2, 22, 39, 352). Su questi problemi non basta sicuramente l'ammettere che la definizione di modello è insufficiente e che ci si rifà all'uso corrente dei logici e dei matematici (p. 2).

Il predicato poi verifica il rapporto della teoria con la realtà. Però nasce un problema che non è chiarito dagli strutturalisti: la sua natura. Se la verifica fosse operativa, dovrebbe corrispondere ad un algoritmo operativo e matematico di decisione; ma l'algoritmo di decisione non è nemmeno accennato dagli strutturalisti; e pour cause, essendosi accorti gli strutturalisti che non riescono a formalizzare del tutto le applicazioni intese (p. XXV). Quindi il predicato resta del tutto astratto rispetto alla verifica empirica, essendo solo una verifica in un insieme di modelli, quale è I , che già è formalizzato (ma solo parzialmente). Ma allora concludiamo che la parola assiomatica è usata dagli strutturalisti in un senso molto generico.

Inoltre, è il predicato decisivo, fino ad essere distruttivo della teoria stessa? Se ciò è vero, così come deve essere per ogni teoria empirica, allora il predicato deve essere decidibile in termini di tertium non datur; quindi deve valere la logica classica nel predicato e sul predicato. La logica classica è la logica scelta dagli strutturalisti, ma senza dichiararla. Però alcuni giustamente gliela contestano[\[502\]](#).

Se infatti ricordiamo che la meccanica quantistica può scegliere la logica non classica, il predicato non può rappresentare una affermazione apodittica di verificabilità; indica piuttosto un problema aperto: cioè il problema cruciale di ogni teoria empirica; ovvero, se essa è collegata con i fatti empirici. (In questo senso il loro atteggiamento fondazionale è da collegare con quello di Mach, che riformulò la storia delle teorie scientifiche su un problema generale simile, a comune tra tutte le teorie, la economia di pensiero).

Se è vera l'analisi precedente, allora dobbiamo considerare la formalizzazione strutturalista non secondo quella visione statica che viene data da una assiomatica; ma piuttosto come un processo. Questo processo è il processo universale di ogni teoria empirica, quello di ricongiungere gli sviluppi teorici con gli esperimenti. (Ma allora il processo dello strutturalismo può essere ribaltato ed essere visto non a partire dall'alto dei modelli più astratti, ma a partire dal basso, dai modelli a contatto con l'empiria. E' questo processo inverso che viene suggerito dall'articolo di adesione allo strutturalismo firmato da T.S. Kuhn:[\[503\]](#) lì si suggerisce una maniera di comprendere con precisione gli strumenti dello strutturalismo, concretizzandoli con il percorso compiuto dallo studente di fisica o dal ricercatore di fisica; i quali debbono passare da M_{pp} a M_p ed M).

Ma allora il loro atteggiamento non è assiomatico. Piuttosto, ponendo essi un problema centrale e indirizzando ogni teoria a risolverlo, la organizzazione della teoria che essi attuano è di tipo problematico, cioè il loro atteggiamento è "strumentalista", in funzione del problema da risolvere[504].

D'altronde, ciò risulta chiaro anche dal loro concetto di modello; ponendolo al di fuori di un'assiomatica classica, esso mantiene il solo significato originario, che è quello di abbracciare tutto un gruppo di fatti e di relazioni, ma in modo intuitivo: cioè senza dire in che modo formale lo si fa, proprio così come è caratterizzata la conoscenza di base nell'atteggiamento strumentalista. Non sembra un caso che poi le teorie che essi vanno a formalizzare sono strumentaliste (o almeno lo erano all'origine): chimica, termodinamica, meccanica di Lagrange, meccanica dell'urto, relatività ristretta.

7. Gli strutturalisti e la ricerca dei veri fondamenti della scienza

Esaminiamo ora lo strutturalismo alla luce delle due opzioni, quelle sul tipo di matematica e sul tipo di organizzazione della teoria.

Quello che è sicuro è che per loro la matematica è solo quella che ha il massimo delle potenzialità, compreso l'infinito in atto (IA); così come è la teoria degli insiemi e quella del Bourbaki. (E' naturale, sotto questa luce, che gli strutturalisti chiedano alla superpotente matematica bourbakista una funzione r_p , la quale ad un fisico appare a prima vista come una astrazione totale).

Inoltre la discussione del SS precedente indica che lo strutturalismo, così come è suggerito da Suppes, gioca ambigualmente su ambedue le scelte dell'organizzazione della teoria scientifica; essi possono essere considerati seguaci sia della organizzazione deduttiva (OA) sia della organizzazione problematica (OP). La ambiguità sulla scelta dell'organizzazione non si manifesta ai critici perché gli strutturalisti si appoggiano sulla ambiguità dell'attuale (mitico) concetto di modello; questo concetto è ambiguo poiché rappresenta il punto di appoggio principale nello stesso tempo della tradizionale organizzazione deduttiva assiomatica, ma anche di tutta la ampia ricerca attuale per una nuova organizzazione delle teorie logiche e matematiche, intesa in un senso più o meno problematico.

Si noti che anche essi indicano questa ambiguità, ma solo in senso filosofico: essi distinguono (p. XXX, giusto nel finale dell'introduzione) due interpretazioni dello strutturalismo, il fondazionalismo e il coerentismo. E' facile riconoscerci una immagine dell'OA "(no closed paths)" e dell'OP ("no loop-free paths"); ed è significativa la loro tendenza dichiarata per la seconda scelta.

Con ciò le due opzioni sono state capaci di caratterizzare la formula dello strutturalismo, che può essere scritta come: (OA, OP) & IA.

Chiarito ciò, allora appare il limite oggettivo degli strutturalisti. Avendo di fatto compiuto certe scelte (anche se implicitamente e ambigualmente), essi sono costretti a scegliere una (o più) formulazioni particolari che la creatività fisica ha dato di una teoria; ma senza saper giustificare il perché, senza poter decidere se quella scelta sia la più rilevante, se le altre siano immature o "prescientifiche"; e senza poter promettere che tutte quelle "scientifiche" siano assiomatizzabili alla stessa maniera. Quindi rispetto alla ampiezza (e non solo alla genetica) della fisica teorica non riescono a dimostrare che i loro prodotti non sono degli artefatti. La speranza degli strutturalisti è quella di riuscire a rappresentare, di una teoria, la formulazione che più esprime la vulgata didattica; oppure quella che secondo loro dovrebbe diventare la nuova vulgata (termodinamica di Gibbs e di Callen rispetto a quella di Carnot-Kelvin-Clausius) oppure quella che secondo i loro meccanismi interpretativi prepara la vulgata (la meccanica dell'urto rispetto alla meccanica di Newton).

8. Conclusioni

In definitiva, notiamo che il loro metodo riflette una traduzione (parziale) delle due opzioni, così come lo erano le categorie storiografiche di Koyré, Kuhn ed altri. In Koyré e Kuhn le traduzioni delle scelte sulle due opzioni (IA&OA) erano ambedue di tipo soggettivo-intuitivo. In particolare, la traduzione di Koyré era in termini intuitivi fisici (spazio, geometria); quella di Kuhn era in termini soggettivi storici (rivoluzione, paradigma, scienza normale, ecc.).[\[505\]](#)

Si può dire che gli strutturalisti invece hanno rifiutato una traduzione di tipo soggettivo, cercando essi una traduzione delle opzioni in termini solo oggettivi. Infatti essi rappresentano nello stesso tempo l'atteggiamento dominante nella fisica teorica, quello di oggettivare, matematizzando, il più possibile dei fondamenti; ad es., trattare ogni problema della meccanica quantistica nello spazio di Hilbert; oppure, in relatività, con il ds^2 . La loro è un'altra maniera di rendere "razionale" la fisica, in corrispondenza alla tendenza matematizzante dei fisici, quella tendenza che fino al 1900 fu molto forte come fisica-matematica. Ma questa tendenza fu umiliata quando gli sviluppi storici della fisica furono divergenti rispetto ai suoi postulati di base: la nascita dei quanti e la associazione dello spazio e del tempo infatti erano al di fuori di ogni previsione di quel tipo di formalizzazione della fisica teorica. Gli strutturalisti non hanno niente da imparare da questa disavventura?

Ricercando la oggettività, essi hanno elevato a categoria interpretativa la parte oggettiva della fisica teorica: la sua matematica, gli esercizi di fisica. Con ciò essi hanno realizzato la filosofia mitica dell'atteggiamento dominante tra i matematici professionisti: là dove arriva la matematica moderna, là c'è illuminazione e avanzamento. In altri termini, essi hanno espresso la fisica teorica dal punto di vista del matematico boubakista; il quale crede che con le tecniche oggettive si riesce ad afferrare la sostanza dei fondamenti della matematica (e della scienza). Il che fa preferire il formalismo ad una chiara indagine sui fondamenti, perché col formalismo si produce, mentre con l'analisi concettuale si girerebbe a vuoto. E così si produce un lungo elenco di teorie formalizzate; ma non si precisa il metodo con il quale si compie ogni volta quell'operazione. Se gli strutturalisti volessero uscire dal gioco autocompiaciuto di allungare sempre più l'elenco delle teorie conquistate alla loro formalizzazione, dovrebbero piuttosto precisare su ogni teoria che cosa è frutto del metodo generale e che cosa è frutto della loro creatività (senza aspettare che i critici contestino, una per una, le loro scelte): più autoriflessione che estensioni.

Ma se andiamo al di là delle intenzioni e guardiamo piuttosto i risultati che essi producono, allora notiamo che il loro atteggiamento, anche se inteso nel loro senso, non è veramente strutturalista; intanto perché è discutibile se le "strutture" delle teorie che essi ci offrono sono poco più di artefatti. Ma soprattutto perché gli strutturalisti traducono le scelte (OA, OP) & IP in categorie pretese oggettive della teoria degli insiemi, ma queste in effetti risultano delle categorie soggettive, nella misura in cui non è loro possibile precisare né la definizione di modello né quella di termini teorici.

Né il loro atteggiamento è strutturalista nel senso delle due opzioni; in quanto queste non vengono indicate (almeno implicitamente) più di quanto non lo facessero i loro maestri (Bourbaki, Suppes); e per di più, sull'organizzazione della teoria restano nell'ambiguità. Quindi, alla luce delle due opzioni, il loro gran lavoro non ci ha fatto fare passi in avanti nella comprensione dei fondamenti delle teorie fisiche; hanno solo applicato risultati fondazionali altrui (Suppes, Bourbaki, Ramsey).

In definitiva, essi debbono essere caratterizzati piuttosto che come strutturalisti, come obiettivisti, perché hanno voluto obiettivizzare tutta la fisica in maniera formale (matematica); e come insiemisti, perché il loro (di fatto, forte) soggettivismo si è coperto col formalismo soggettivista dei particolari fondamenti della teoria degli insiemi. In definitiva, essi sono oggettivisti-insiemisti, in inglese li si potrebbe chiamare: object-setists.

[\[*\]](#) Gruppo di Storia della Fisica-Dip. Scienze Fisiche-Università "Federico II", Napoli

[484] J.D. Sneed: *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, 1971.

[485] Come massimo sforzo in questa direzione si vedano gli scritti di M. Bunge, ad es. "Physical Axiomatics", *Am. J. Phys.*, 19 (1967) 463. In particolare si può vedere l'applicazione alla termodinamica di J.G. Garrido: "Axiomatic basis of Equilibrium Thermodynamics", *Erkenntnis*, 25, (1986) 239-263.

[486] A. Drago: *Le due opzioni. Per una storia popolare della scienza*; La Meridiana, Molfetta Ba, 1991; *Storia dei fondamenti della Fisica secondo le due opzioni fondamentali*, dispense del corso di Storia della Fisica, Univ. Napoli, a.a. 1994-1995; "Dualism and incompleteness in Quantum Mechanics: Towards a more adequate theory", in C. Garola, A. Rossi (eds.): *Foundations of Quantum Mechanics*, Kluwer A. P., 1995, 213-227.

[487] W. Balzer, C.U. Moulines, J. D. Sneed: *Architectonics of Science*, Reidel, 1987. Nel seguito, la indicazione del numero di pagine posta tra parentesi () riguarda questo libro.

[488] W. Diederich, A. Ibarra, T. Mormann: "Bibliography on Structuralism", *Erkenntnis*, 30 (1989) 387-407; 41 (1991) 403-418.

[489] Particolarmente rilevanti sono quelle di W. Stegmüller in *Erkenntnis*, 33 (1990) 399-410; V. Rantala in *Synthèse*, 86 (1991) 297-319 e N. da Costa in *J. Symb. Logic*, 59 (1994) 691-3. Può essere utile anche la recensione da parte di W. Diederich in *Erkenntnis*, 30 (1989) 363-386, della seconda edizione del libro-programma di W. Stegmüller: *Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973*, Springer, 1986.

[490] H.H. Field: *Science without Numbers*, Princeton U.P., Princeton, 1980.

[491] M. Alai: "Stegmüller e la struttura delle teorie", *Scientia*, 120 (1985) 91-104.

[492] Lo schema qui presentato migliora in alcuni particolari il precedente in A: Drago: "Il caso della chimica come rivelatore dei limiti dell'interpretazione strutturalistica della storia della scienza", in P. Amat di S. Filippo (ed.): *Atti V Congr. Naz. Storia e Fond. Chimica, Acc. Scienze XL*, 113, 29, pt.2, 1995, 269-285. In questo scritto c'è anche una tabella che sintetizza la storia dello strutturalismo

[493] W. Balzer: "Finality and the development of logical structure of physical theories", *Epistemologia*, 5 (1982) 257-268.

[494] H. Callen: *Thermodynamics*, Wiley, New York 1960 (Tamburrini, 1964).

[495] C. Moulines: "A logical reconstruction of simple equilibrium thermodynamics", *Erkenntnis*, 9 (1975) 101-130

[496] C. Truesdell: *Rational Thermodynamics*, Mc Graw-Hill, New York, 1969

[497] Si vedano le prime pagine dell'introduzione in E. Bishop: *Foundations of Constructive Mathematics*, Mc Graw-Hill, 1967. Per una prima introduzione si veda A. Drago, G.A. Gerla: "Le implicazioni didattiche del contrasto tra matematica classica e matematica costruttiva", *Period. Mat.*, 57 (1981) 79-95.

[498] A. Drago: "Thermodynamics vs. Mechanics: A new look and a new teaching", in M.P. Giaquinta et al. (eds.): *Proc. Taormina Conf. on Thermodynamics*, Acc. Pel. Pericolanti, Messina, 1992, 311-29.

[499] Una disamina è in W. Diederich: "The Development of Structuralism", *Erkenntnis*, 30 (1989)

363-386.

[500] Lo nota anche R Tuomela: "On the structural approach to the dynamics of theories", *Synthese*, 39 (1979) 211-231, p. 223-5.

[501] Per due critiche da angolature molto differenti si vedano P. Hugly, C. Sayward: "Do we need models?", *J. Symb. Logic*, 28 (1987) 414-430 e J. Hintikka: "There is completeness in Mathematics after Goedel's theorem?", *Philos. Topics*, 17 (1989) 69-90.

[502] V. Rantala: "Logical properties of the structuralistic concept of reduction", *Erkenntnis*, 18 (1982) 307-333; e N. Da Costa: *op. cit.*, p. 673.

[503] T. S. Kuhn: "Theory-change as structure change: comments on the Sneed formalism", in M.E. Butts, J. Hintikka (eds.): *Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Reidel, 1977, 289-309.

[504] Ciò è stato già notato da altri autori. Vedasi R. Tuomela: *op. cit.*, 228.

[505] A. Drago: Caratterizzazione strutturale delle storiografie della scienza di Koyré, Kuhn e seguenti, in A. Rossi (ed.): *Atti XIV e XV Congr. Naz. St. Fisica*, Conte, Lecce, 1996, 159-167; Koyré, Kuhn and beyond, *10th Logic, Meth. Phil. Sci.*, Firenze, 1995, p. 320 (abstract).