

IL PROGRAMMA STORIOGRAFICO DI KUHN CARATTERIZZATO SECONDO DUE PROGRAMMI DI RICERCA SUI FONDAMENTI DELLA SCIENZA

PIETRO CERRETA E ANTONINO DRAGO

Università di Napoli

1. Il parallelo tra i programmi di ricerca di Hilbert e di Kuhn

Da circa un secolo la ricerca sui fondamenti della scienza avviene, più che incrementando una teoria considerata basilare, secondo dei programmi di ricerca. Il secolo XX è stato caratterizzato da vari programmi di ricerca in competizione tra loro¹. In seguito si vuole porre in parallelo lo sviluppo dei due programmi che sono risultati i più influenti del XX secolo, quello di Hilbert (in Matematica) e quello di Kuhn (in Fisica attraverso la sua storia). Ma nessuno dei due è riuscito a raggiungere l'obiettivo che si era proposto. Qui si suggerisce di studiarli al fine di ricavare dal loro mancato raggiungimento del rispettivo obiettivo i fondamenti della scienza. Questi risultano essere quelli proposti da un altro programma di ricerca, perseguito da uno di noi (A. D.). Ottenuta questa base, i primi due programmi saranno reinterpretati storicamente, soprattutto quello della storiografia di Kuhn; il fine è di giungere a delle considerazioni complessive sulla storia della ricerca sui fondamenti nel XX secolo.

Il più famoso e duraturo programma di studio sui fondamenti di tutta la scienza è stato quello di Hilbert (1903)². Egli enunciò 23 problemi cruciali per tutta la Matematica; uno di essi era quello di assiomatizzare ogni teoria scientifica, teorie fisiche comprese. Poi questo programma si è ristretto di fatto ai problemi fondazionali della sola Matematica. Lì Hilbert ha introdotto una «metamatemica», cioè una intera teoria matematica nella quale si potesse studiare la teoria matematica in esame; come sua tappa finale ha studiato la aritmetica mediante la stessa aritmetica (indebolita).

Questo aspetto autoriflessivo (o frattale³), posto a fondamento del programma, vale anche per un altro programma di ricerca, che dopo quello di Hilbert, è stato il più influente del secolo XX: lo studio di Kuhn sui fondamenti della Fisica, visti attraverso la capacità di ricostruire tutta la storia della fisica.

¹ Ciò è evidente per la Matematica e appare anche in Fisica con le differenze tra relatività e meccanica quantistica; inoltre appare anche una divergenza tra le storiografie di Koyré e di Kuhn, nonostante quest'ultimo si appelli a una continuità col primo.

² D. Hilbert, *Ricerche sui Fondamenti della Matematica*, Bibliopolis, Napoli, 1978; C. Cellucci, *La filosofia della Matematica*, Laterza, Bari 1967; M. Borga e D. Palladino, *Oltre il mito della crisi*, La Scuola, Brescia 1997; P. Mancosu, *From Brouwer to Hilbert*, Oxford University Press, New York 1998.

³ N. Murphy, *Philosophical Fractals: Or, History as Metaphilosophy*, «Stud. Hist. Phil. Sci.», 24, 1993, pp. 501-508: prende spunto da una storia della teoria cognitiva per teorizzare che la storia può essere descritta in termini frattali.

Kuhn ha introdotto i concetti di: paradigma, anomalia, rivoluzione ecc. In precedenti lavori si è notato che questi concetti, esprimenti tutti assieme la dinamica della evoluzione storica delle teorie fisiche, corrispondono a quelli tipici della più importante dinamica in fisica, cioè la dinamica newtoniana⁴; alla Hilbert, si può dire che nella storiografia di Kuhn la meccanica di Newton fa da metateoria per interpretare la dinamica storica di tutta la fisica classica, chimica compresa. Il parallelo è rafforzato dal fatto che anche il programma di Kuhn può essere espresso con la matematica tipica della dinamica di Newton, cioè con una funzione matematica attività della comunità degli scienziati c ad un dato tempo t , $A(c,t)$, rappresentativa delle proprietà della metateoria storica⁵.

Questo sorprendente collegamento suggerisce di procedere ad una indagine più approfondita, benché i loro due programmi riguardino campi e metodi sicuramente diversi⁶. Chiediamoci se siano comunque andati in parallelo e se abbiano ottenuto dei risultati che possono essere posti in parallelo.

Hilbert credette di raggiungere facilmente il risultato finale del suo programma (trattazione matematica formale di come eliminare la possibilità di una contraddizione dalle sue assiomatiche, in particolare dall'assiomatica della aritmetica)⁷. Cinquant'anni dopo anche Kuhn credette di raggiungere facilmente il risultato ultimo del suo programma: la trattazione formale della principale rivoluzione nei fondamenti della Fisica, la nascita della meccanica quantistica⁸.

E come il programma di Hilbert ha poi trovato la strada sbarrata dal teorema di Goedel (tdG), il quale dimostra che una teoria assiomatica è essenzialmente incapace di includere ogni teorema della teoria⁹; così il programma kuhniano, che pretendeva di spiegare tutte le rivoluzioni scientifiche con l'apparato concettuale della dinamica newtoniana, ha trovato la strada sbarrata dalla storia della rivoluzione del corpo nero. Infatti quando Kuhn ha affrontato questo problema per spiegare la nascita dei quanti, in *Black Body Theory and the Quantum Discontinuity* (BBT) è stato

⁴ P. Cerreta e A. Drago, *Matematica e conoscenza storica. La interpretazione di Kuhn della storia della scienza*, in L. Magnani (a cura di), *Conoscenza e Matematica*, Marcos y Marcos, Milano 1991, pp. 353-364.

⁵ L'origine comune di questi programmi può essere fatta risalire a Newton, il quale ha lanciato quel sogno di onniscienza che esprimono le 31 *queries* dell'*Optiks*, ultima opera, a lungo meditata e rinviata nella pubblicazione; la meccanica può spiegare tutto, dalla meccanica, alla chimica, alla biologia, all'etica stessa, andando al di là delle quattro virtù cardinali, «seguite dai popoli primitivi». I. Newton, *Queries*, in Id., *Optiks*, London 1706.

⁶ Kuhn esclude infatti la storia della matematica dalla sua storiografia; vedasi T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1978 (d'ora in avanti indicata come SRS), Introduzione; e trascura la matematica in BBT, benché essa chiaramente dovrebbe avere un ruolo centrale nella rivoluzione dei quanti.

⁷ D. Hilbert, *Sull'infinito*, in *Ricerche cit.*, pp. 233-266; Cellucci, *La filosofia della Matematica cit.*, pp. 161-183.

⁸ T.S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity* (1894-1912), Clarendon Press, New York 1978 Prefazione [trad. it. *Alle origini della fisica contemporanea. La teoria del corpo nero e la discontinuità quantica*, Il Mulino, Bologna 1981, pp. 17-18].

⁹ Per una introduzione vedasi C. Mangione e S. Bozzi, *Storia della Logica*, Garzanti, Milano 1993, pp. 563-570; o Borgia e Palladino, *Oltre il mito della crisi cit.*, cap. 6.

costretto a rinunciare al paradigma che era stata la sua categoria principale. In BBT Kuhn si limita a descrivere i fatti senza più avere la pretesa di interpretarli¹⁰.

Il dato più rilevante è che, in contrasto con gli storici precedenti, Kuhn dice che Planck ha un ruolo solo implicito nell'introduzione dei quanti. Secondo Kuhn, il merito di Planck è quello di aver utilizzato nella formula del corpo nero la statistica dei gas di Boltzmann, la quale aveva in sé già una forma primitiva di quantizzazione¹¹, ma non fu consapevole di aver concepito una novità importante per la fisica. La vera introduzione dei quanti, per Kuhn, deve essere attribuita a Einstein, il quale vi giunse nel 1906, indipendentemente da Planck.

BBT vuole mostrare l'assoluta continuità, ovvero l'eredità storica, di alcuni concetti matematici¹² che da Boltzmann passarono a Planck. Questa è una vera e propria tesi storiografica in polemica con quella di Klein. Per sostenerla egli è costretto a presentare al lettore questioni matematiche ben precise, in particolare i problemi di quali infinitesimi adoperasse Boltzmann. Kuhn, però, non distingue che al di sotto delle operazioni matematiche di Boltzmann c'è una interpretazione finitista che rifiuta l'infinito in atto in fisica. Egli spiega i fatti dicendo che Boltzmann aveva una opinione superficiale sul continuo e il discreto, opinione che poi è passata in Planck. In realtà egli non ha le categorie di giudizio per vedere il conflitto tra la fisica-matematica della tradizione ottocentesca e quella di Boltzmann. Se avesse avuto la consapevolezza dei differenti infiniti possibili in matematica, nel caso del corpo nero avrebbe potuto evidenziare una discontinuità che gli avrebbe forse consentito di ritornare al paradigma, naturalmente con una sua nuova definizione in termini matematici.

2. Uscire da una chiusura: le due opzioni

Una ipotesi che accomuna i due programmi è che ambedue sboccano nell'invito a uscire da una chiusura che la scienza stessa si era costruita nel tempo. Vari autori valutano il risultato negativo del tdG essenzialmente come una necessità di uscire dalla concezione basilare del programma di Hilbert sui fondamenti della matematica¹³. Analogamente l'insuccesso di Kuhn sulla storia del corpo nero significa

¹⁰ M.J. Klein, A. Shimony e T.J. Pinch, *Paradigm Lost? A Review Symposium*, in «ISIS 70», 1979, pp. 430-434; P. Cerreta, *The Birth of Quanta: A Historiographic Confrontation*, in H. Kragh, G. Vanpaemel e P. Marage (a cura di), *Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 1997)*, Vol XIV, *History of Modern Physics*, pp. 249-259, Brepols, Turnhout 2002.

¹¹ P. Cerreta, *Kuhn's Interpretation of Boltzmann's Statistical Heredity in Planck*, in C. Garola e A. Rosi (a cura di), *The Foundations of Quantum Mechanics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1995, pp. 139-146.

¹² P. Cerreta, *Kuhn's Analysis of History of Black Body: >From «Paradigm» to «Group of Concepts» in Italian Physical Society, Conference Proceedings Vol 42, History of Physics in Europe in the 19th and 20th Centuries*, a cura di F. Bevilacqua, Editrice Compositori, Bologna 1992, pp. 307-311.

¹³ E.W. Beth, *Critical Epochs in the Development of the Theory of Science*, in «Brit. J. Phil. Science», 1, 1950, pp. 27-52; J. van Heijenoorth, *Goedel's Theorem*, in *Encyclopedia of Philosophy*, MacMillan, New York 1967, p. 356; G. Kreisel, *Logic Aspects of Axiomatic Method*, in H.-D. Ebbinghaus et al. (a cura di), *Logic Colloquium '87*, Elsevier, Amsterdam 1989, pp. 183-217; J. Hintikka, *Is There Completeness in Mathematics after Goedel?*, in «Phil. Topics», 17, 1989, n. 2, pp.69-90; anche in *The Principles of Mathematics Revisited*, Oxford 1996.

che bisogna uscire dalle categorie che Kuhn si era dato per interpretare la storia della fisica¹⁴. Più precisamente il tdG significa che occorre uscire dalla sola assiomatica quella che invece il programma di Hilbert proponeva per tutte le teorie scientifiche; così l'insuccesso di Kuhn sulla storia del corpo nero significa che bisogna uscire dalla dinamica storica vista come una dinamica newtoniana, intesa come il solo paradigma interpretativo di tutta la storia della fisica.

Quindi le crisi dei due programmi indicano la necessità di uscire. Non indicano però quale sia la porta di uscita, né quale sia la nuova via da accettare di percorrere. Per questo motivo il dibattito su ambedue i programmi è stato vivacissimo; e alla fine si è spento senza raggiungere una coscienza dei fondamenti della scienza, lasciando un generale stato di insoddisfazione in chi nel passato aveva seguito questi programmi di ricerca.

In realtà, entrambi i programmi invitano a uscire da tutta una tradizione, che però è profondamente differente nei due casi; nel caso di Hilbert la tradizione da cui l'incompletezza invita a uscire, è quella di un particolare *tipo di organizzazione* della teoria, l'organizzazione per principi-assiomi, dai quali derivare tutti i teoremi della teoria (si noti che poco prima anche in fisica teorica la organizzazione deduttiva della meccanica, che procede da principi-assiomi è stata contestata dalla relatività ristretta); nell'altro caso di Kuhn, la tradizione da cui i quanti invitano a uscire è quella di un particolare *tipo di matematica*, quella del continuo idealizzato, tipico della teoria newtoniana¹⁵ (si noti che contemporaneamente, anche in Matematica le idealizzazioni del continuo erano state contestate da Brouwer, che riparte dal discreto dell'aritmetica). Allora, vedendo tutto il secolo XX attraverso questi due programmi di ricerca, e le loro crisi drammatiche, possiamo concludere che esso ha suggerito due opzioni, quella sul tipo di organizzazione e quella sul tipo di matematica¹⁶.

Recentemente (1991) uno di noi (A.D.) ha proposto un programma di studio sui fondamenti della scienza secondo il quale i fondamenti sono caratterizzati proprio da queste due opzioni (sul tipo di organizzazione e sul tipo di matematica); ogni opzione è decisa da una di due possibili scelte: o l'infinito in atto IA, o l'infinito solamente in potenza IP; o l'organizzazione interamente deduttiva da principi assiomi OA, oppure basata su un problema di cui occorre trovare un nuovo metodo scientifico di soluzione, OP. Ogni coppia di scelte sulle due opzioni dà luogo a uno di quattro modelli di teoria scientifica (MTS). Con essi possiamo qualificare le

¹⁴ P. Cerreta, *Historiographical Paradigms: Koyré, Kuhn and Beyond*, in L. Kovacs (a cura di), *History of Science in Teaching Physics*, Studia Physica Savariensia, Szombathely 1995.

¹⁵ P. Cerreta e A. Drago, *Matematica e conoscenza storica. La interpretazione di Kuhn della storia della scienza*, in Magnani (a cura di), *Conoscenza e Matematica* cit., p. 358.

¹⁶ Tutto ciò è analogo a quanto è avvenuto col programma di ricerca, ancor più grandioso, che Newton aveva lanciato nelle 31 *Queries* dell'*Ottica*. Questo programma è stato bloccato dalle nascite della chimica e della termodinamica, le quali, avendo una matematica molto semplice, sono divergenti dalla meccanica; e dal concetto di entropia, che esprime un limite alla organizzazione del sistema, invece che una organizzazione deduttiva infinita, come viene iniziata dal concetto di forza newtoniana. In questo senso l'uscita da una tradizione unidimensionale sui fondamenti della scienza era già iniziata al tempo della rivoluzione francese.

categorie un po' vaghe di Kuhn; nella storiografia della fisica, soprattutto due MTS sono stati importanti, quello newtoniano, che essendo stato dominante, ha avuto il ruolo di un paradigma; e quello carnottiano (della meccanica di L. Carnot e della termodinamica di S. Carnot), che gli ha rappresentato la alternativa minoritaria¹⁷.

In più possiamo dichiarare due teorie incommensurabili quando differiscono almeno in una scelta su queste due opzioni¹⁸. (Infatti l'IA esclude le indecidibilità di IP; e l'IP esclude gli elementi ideali di IA; mentre l'OA schiaccia tutti i principi metodologici, espressi con doppie negazioni, in principi-assiomi ideali; e l'OP si basa su un problema universale, che in una OA non può esistere se non come risolto da un teorema.)

3. Ritorno al programma di Hilbert: i fondamenti della matematica

Sulla base di questa ipotesi interpretativa, adesso torniamo al programma di Hilbert, per caratterizzarlo e chiarire la natura del dibattito sui fondamenti della matematica (FdM) del secolo XX.

Il programma di Hilbert voleva solamente la organizzazione assiomatica di (ogni) teoria matematica e fisica, cioè la OA. Inoltre voleva mantenere nella Matematica le idealizzazioni, considerandole essenziali ai matematici, perché sono i tipici strumenti del loro mestiere; quindi la scelta IA.

D'altra parte, il suo oppositore principale, Brouwer, ha cercato di ricostruire tutta la Matematica solamente su enti costruibili mediante il calcolo effettivo; quindi egli ha il merito di aver valorizzato l'IP. Inoltre Brouwer ha sempre parlato della incapacità di una assiomatica formale a catturare una intera teoria matematica; e addirittura si è spinto a sfiduciare gli assiomi¹⁹. Quindi sicuramente ha rifiutato la OA, e si è avvicinato molto ad una OP. I due programmi hanno creato una grande contrapposizione, proprio come sono i due MTS newtoniano e carnottiano ai quali rispettivamente appartengono.

Per rispondere alle critiche di Brouwer, Hilbert ha dovuto introdurre una metamatematica e ha dovuto caratterizzare la aritmetica della metamatematica come

¹⁷ Lo stile di BBT, essenzialmente descrittivo, evidenzia che Kuhn è uscito completamente dal suo paradigma interpretativo meccanicista, per passare ad interpretare gli eventi della storia della fisica con un nuovo schema, ispirato alla termodinamica (P. Cerreta, *Historiographical Paradigms: Koyré, Kuhn and Beyond*, in Kovacs, a cura di, *History of Science in Teaching Physics* cit.); che, coerentemente con quanto è stato detto prima, ora deve essere vista come la metateoria della storia. Infatti, la descrizione della nascita della teoria dei quanti è spiegata senza conflitti, ma con la continuità di più fasi: la fase di Boltzmann, di Planck e di Einstein, e il discorso di Kuhn sembra spiegare una metamorfosi, come nelle fasi liquida, solida e gassosa di un unico sistema termodinamico in evoluzione.

¹⁸ A. Drago, *An Effective Definition of Incommensurability*, comunicazione all'*VIII Congress on Logic, Methodology and Phil. Sci.*, 4, pt. 1, Mosca 1987, pp. 159-162 e in C. Cellucci *et al.* (a cura di), *Temi e prospettive della logica e della filosofia della scienza contemporanea*, vol. II, CLUEB, Bologna 1988, pp. 117-120. In generale, si può affermare che la caratteristica della storia della scienza del 1900 è l'aver avvertito, ma non chiarito, la incommensurabilità.

¹⁹ L.E.W. Brouwer, *The Unreliability of the Logical Principles*, in *Collected Works*, vol. I, Noth-Holland, Amsterdam 1975, pp. 107-111.

una teoria «più debole» della aritmetica in studio; questo indebolimento consisteva nel ridurre la matematica a «finitista»; il che chiaramente non può che esprimere l'IP; e nel considerare solo il principio di induzione intuitivo; il che non può che essere un principio metodologico a doppia negazione²⁰.

Allora riconosciamo che *le due opzioni costituiscono la struttura portante, benché implicita, del dibattito Hilbert-Brouwer*, ne chiariscono le posizioni divergenti, e anche la evoluzione di Hilbert nel formulare in maniera sempre più precisa il suo programma di ricerca; evoluzione che in realtà ha incluso sempre più scelte nella sua concezione dei fondamenti della Matematica (FdM), in quanto alla fine esse sono rappresentate tutte e quattro, o dalla matematica o dalla metamatematica.

Ma alla centralità delle due opzioni si può arrivare anche per un'altra via. Stranamente non si è notato che anche il solo caso storico del teorema di Goedel ci può indirizzare a riconoscere che i FdM sono costituiti da due opzioni. Già Brouwer aveva proposto l'incompatibilità tra la scelta di IP e quella di IA. I matematici (al seguito di Hilbert) non credevano che questa incompatibilità fosse possibile. Ma poi il formalista Goedel ha introdotto le funzioni ricorsive; è stata una prima maniera di accettare, all'interno di un teorema decisivo, la formalizzazione dell'IP come incompatibile con l'IA. Quindi da allora gli hilbertiani debbono riconoscere che anche la loro ricerca sui FdM include una opzione tra due tipi di matematica; più precisamente, tra matematica classica alla Cauchy e matematica costruttiva di Bishop²¹.

Inoltre, quando si voglia dimostrare la non contraddittorietà di una teoria secondo Hilbert²², anche l'uso del terzo escluso in metamatematica è obiettabile; la metamatematica quindi non lo deve includere. Il che prospetta un'altra opposizione irriducibile nei FdM, quella sulla logica. Questa opposizione divenne chiara proprio nel tempo di Goedel, quando si capì che la logica classica e quella intuizionista non possono avere le stesse leggi formali, né includersi in qualche modo; esse sono essenzialmente diverse, come lo stesso Goedel mise in evidenza²³. Notiamo che i due tipi di logica comportano anche due organizzazioni della teoria che sono radicalmente differenti: la logica classica è tipica del metodo deduttivo di una OA; la logica intuizionista, in cui non vale il terzo escluso, è aperta al nuovo, quindi è tipica di una OP, che, per risolvere un problema cruciale, inizia da dei principi metodologici a doppia negazione per cercare un nuovo metodo scientifico²⁴.

Inoltre possiamo indicare una terza maniera di indurre le due opzioni come FdM: analizzando il risultato del tdG. Il programma di Hilbert aveva posto come

²⁰ Cioè: $P(0) \wedge [P(n) \rightarrow P(n+1)] \rightarrow \neg \exists \neg P(n)$. Vedasi A. Drago, *Poincaré vs. Peano and Hilbert about the Mathematical Principle of Induction*, in J.-L. Greffe, G. Heinzmann e K. Lorenz (a cura di), *Henri Poincaré. Science et Philosophie*, Blanchard, Paris, Springer, Berlin 1996, pp. 513-527.

²¹ E. Bishop, *Foundations of Constructive Mathematics*, Mc Graw-Hill, New York 1967.

²² Hilbert, *Sull'infinito* cit.

²³ Van Heijenoorth, *Goedel's Theorem*, cit., 1932. La logica classica si distingue da, detto genericamente, la non classica per la validità o no della legge della doppia negazione.

²⁴ Questa opzione può essere riconosciuta anche nella sola aritmetica dei primi del 1900: il principio di induzione può essere inteso o come l'assioma principale di una OA (così come è in Peano), o come principio euristico di una OP; v. nota 15.

temi cruciali la indipendenza, la completezza e la coerenza (del sistema di assiomi di ciascuna teoria matematica assiomatizzata). Ora, la richiesta di indipendenza costituisce in definitiva la ricerca di una semplificazione tecnica degli assiomi già acquisiti; quindi ha senso nel corso dell'assiomatizzazione, non per i FdM; mentre invece le richieste di completezza e di coerenza riguardano proprietà universali e sicuramente fondazionali di una teoria già formulata. Anche il tdG ha sottolineato solo queste due richieste sulle tre che erano state enunciate dal Programma Hilbert: la completezza e la coerenza di ogni teoria matematica. Esse in realtà sono metafore delle sue due scelte, giusta la percezione approssimativa che Hilbert aveva dei FdM: rispettivamente la globalità della organizzazione (OA) e lo sviluppare la teoria all'infinito (IA)!

Inoltre il risultato del tdG ha contrapposto queste due proprietà tra loro; il che ha indicato una conflittualità nei FdM, anche se questa conflittualità è malposta, perché, invece che tra la coppia delle scelte (di ognuna delle due opzioni), è tra le scelte prese su due opzioni diverse. Ma con ciò il tdG in effetti ha attirato l'attenzione degli studiosi su una forte approssimazione dei FdM. Ma esso non è stato inteso sotto questo aspetto, che poteva essere scoperto con una attenta lettura tra le righe²⁵.

In definitiva, tutti e due i programmi e anche l'elemento intermedio, il tdG, hanno molto approssimato i FdM, da punti di vista molto diversi.

4. Ritorno al programma di Kuhn: il paradigma e i fondamenti della fisica

Alla luce delle due opzioni, si riconosce abbastanza bene che le categorie di Kuhn traducono le sue scelte fondamentali. La «comunità degli scienziati» è quell'organizzazione gerarchica che decide insindacabilmente su ciò che è vero o falso nella scienza; il che costituisce una metafora sociologica della OA di una teoria. Mentre la Gestalt tra paradigmi differenti rappresenta un atto inspiegato e mitico di quella comunità, così come lo era nella mente degli scienziati del secolo XVII l'infinitesimo dx ; cioè, la Gestalt è una metafora di IA. Le altre sue parole chiave (paradigma, scienza normale, anomalia, rivoluzione, incommensurabilità) sono, nel loro insieme, l'equivalente intuitivo-storico della cinematica e della dinamica newtoniana di cui si parlava nel par. 2 e le cui scelte sono appunto OA e IA. Queste due scelte (e cioè il MTS newtoniano), allora, caratterizzano la storiografia di Kuhn come essenzialmente newtoniana²⁶.

²⁵ Se ora facciamo attenzione alla storia degli intuizionisti, notiamo che questi, avendo iniziato come esclusivisti ed autosufficienti, poi dopo hanno incluso anche essi le scelte opposte: hanno assiomatizzato la loro logica e la loro aritmetica, cioè in una OA (sia pure aggiungendo un *caveat*, in quanto queste formalizzazioni non catturerebbero tutta la intuizione matematica corrispondente). Inoltre, per riuscire a riottenere i risultati classici, hanno introdotto elementi ideali (choice sequences, teorema del punto fisso, ecc.). Con ciò sono entrati in un compromesso che li ha impastoati, così tanto da non riuscire più a definire l'IP una volta per tutte e con precisione; e ancor meno l'OP, che era implicito nel loro programma.

²⁶ È quanto si era già ricavato induttivamente da una analisi delle sue categorie fondamentali, comparate con quelle di Planck nella sua *Autobiografia* (si veda M. Plance, *La conoscenza del mondo fisico*, Einaudi, Torino 1942), in P. Cerreta e A. Drago, *La Weltbild di Planck reinterpretata col paradigma di*

In effetti in BBT Kuhn avrebbe dovuto presentare un conflitto all'interno della scienza. Ma lo evade, così come la famosa recensione ha sottolineato²⁷. Il solo scritto in cui Kuhn presenta un caso storico di contrapposizione tra due diverse fondazioni della scienza (e non tra una teoria vera e una teoria falsa, come è il caso di Priestley e Lavoisier) è quello delle scienze «baconiane» contro le scienze matematizzate²⁸. Qui egli valorizza una tradizione sperimentalista, che storicamente fa capo a Francesco Bacone e che ha avuto illustri rappresentanti. Questa tradizione prende importanza quando la si presenti in contrasto con le scienze dell'antichità, matematizzate anche in maniera sofisticata per il loro tempo. L'atteggiamento baconiano è uno sperimentalismo ispirato anche dalla metafisica si potrebbe dire di tipo strategico, che va alla ricerca della natura dei fenomeni. Poi nel 1700, per il crescere del numero degli strumenti fisici di misura questo atteggiamento baconiano diventa di tipo strumentale; il che gli dà maggiore dignità e rilevanza all'interno della scienza (anche perché da esso nasce la scienza chimica, che arriva addirittura a creare dei professionisti: farmacisti, ingegneri minerari, ecc.); tanto da diventare di importanza comparabile a quella delle scienze classiche dell'antichità; comunque sempre in netta distinzione dalle scienze matematizzate. Lo stesso Newton ha partecipato ad ambedue le tradizioni, quella matematizzata con i *Principia* e quella baconiana con l'*Opticks*. Infine Kuhn caratterizza le scienze baconiane nella loro maggiore fioritura (p. 52); le lega all'utilitarismo e ad una radice protestante (sforzo utilitaristico, valorizzazione del lavoro, autonomia nella interpretazione sia delle Scritture sia della natura).

Non è immediato, ma in questo contrasto tra atteggiamento baconiano e atteggiamento matematico si possono vedere delle metafore delle scelte OP e IP, intese come organizzazione finalizzata a risolvere un problema fondamentale e come costruzione passo a passo della realtà. Mentre le scienze matematizzate, tanto più quando sono riferite alle scienze dell'antichità di tipo platonizzante, sono IA e OA.

Ma Kuhn sostiene che poi dopo, dalla prima metà del secolo XIX, le scienze baconiane si perdono di vista, per fenomeni che lui dichiara di vedere solo in parte; per cui pone questa scomparsa come un problema di interpretazione storica (come d'altra parte gli è problema tutta la storia della fisica del XIX secolo; p. 60) Il che è strano; non solo perché quello è proprio il tempo in cui le scienze baconiane, attraverso la meccanica di L. Carnot, la termodinamica di S. Carnot e l'elettromagnetismo di Faraday, diventano competitive con quelle matematizzate; ma anche perché egli ignora lo scontro tra la fisica di Faraday, baconiano per eccellenza, e la matematica di Maxwell (dal quale scontro Faraday temeva che non restasse più niente di quello che aveva fatto).

È evidente che Kuhn perde anche qui l'occasione per qualificare il suo problema a livello delle scelte fondamentali; non tanto perché non sa elevarsi a livello delle

Kuhn e con il modello di teoria scientifica, in F. Bevilacqua (a cura di), *Atti dell'VIII Congresso Naz. Storia della Fisica*, Napoli 1987, pp. 63-69. Abbiamo visto che in seguito all'insuccesso di BBT nell'applicare le sue categorie, egli di fatto ha percepito un MTS «termodinamico».

²⁷ Klein, Shimony e Pinch, *Paradigm Lost?* cit., p. 432.

²⁸ T.S. Kuhn, *Tradizioni matematiche e tradizioni sperimentali nello sviluppo delle scienze fisiche*, in *La tensione essenziale, cambiamenti e continuità nella scienza*, Einaudi, Torino 1985, pp. 37-74.

scelte, ma perché non sa riconoscere quanto Koyré aveva sottolineato abbondantemente nelle sue opere: che la scienza moderna nasce da un conflitto sulla scelta tra infinito in atto e infinito potenziale; e che questo conflitto viene deciso a favore del primo tipo di infinito. Kuhn colpevolmente dimentica questo punto e tratta la matematica in fisica come un monolito, da accettare o rifiutare in blocco. Con ciò non comprende che la matematica, purché IP, può ben entrare a far parte delle scienze baconiane; egli invece le vede perdute appena si matematizzano un poco. Però alla fine del suo articolo ha una scintilla: «Forse [...] la spaccatura tra scienze sperimentali e matematiche ancora resiste, radicata nella natura della mente umana»²⁹.

Questa percezione in Kuhn di un conflitto è del 1972. Essa non prosegue, né lo induce a rivedere i concetti de *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (SRS) che erano stati criticati anche da studiosi a lui favorevoli, come la Mastermann³⁰. Comunque, può essere interpretata come un punto avanzato nel suo percorso di ricerca, che poi risulterà contorto.

Kuhn, infatti, era già tornato con successive riflessioni sullo schema interpretativo originario di SRS senza mai giungere ad uno più chiaro. Nel 1969 aveva pubblicato la seconda edizione di SRS, ma non aveva avuto di meglio da proporre che il testo originale del 1962, ritoccato di pochissimo. Tuttavia, in un piccolo saggio aggiunto in appendice, il *Poscritto 1969*³¹, in cui rispondeva ai suoi critici, le sue idee si avvicinavano di fatto a quelle dei MTS di cui si è parlato.

All'inizio del saggio egli ammette la fondatezza delle critiche della Mastermann (troppe definizioni contestuali di paradigma), che, d'altra parte, erano inoppugnabili. Ma subito ne riduce la portata, attribuendo la loro causa alle «incoerenze stilistiche»³² del suo modo di scrivere, cioè a semplici difetti di espressione letteraria, eliminabili con «relativa facilità»³³. Però poi egli deve ammettere che la sua successiva «ripulitura stilistica»³⁴ non otterrà una definizione univoca del termine in discussione, perché si accorge che il chiarimento non sarà sufficiente³⁵.

Egli, dunque, è consapevole di un'ambiguità irrisolta, ma si comporta come se questo fosse un piccolo neo. Rimarranno, egli dice, «due usi [sic!] molto differen-

²⁹ Ivi, p. 74

³⁰ La Mastermann, per esempio, pur essendo favorevole alle tesi di SRS, gli rimproverava l'uso del concetto di paradigma, con almeno 21 accezioni diverse. Probabilmente per un errore tipografico (cfr. T.S. Kuhn, SRS, p. 219), il numero dei modi riportato da Kuhn nel *Poscritto 1969* è ventidue invece di ventuno. Cfr. M. Mastermann, *La natura di un paradigma*, in P. Feyerabend et al., *Critica e crescita della conoscenza*, Feltrinelli, Milano 1976, pp. 129-161.

³¹ L'edizione italiana del *Poscritto 1969* è in SRS. È opportuno indicare che, in tale edizione, le pagine del *Poscritto 1969* vanno dalla 211 alla 251. Ciò può servire al lettore per distinguere nelle note, immediatamente, le citazioni che si riferiscono al testo originale di Kuhn da quelle che si riferiscono alle pagine da lui aggiunte dopo sette anni. Molte idee contenute nel *Poscritto 1969* risultano già incluse, con espressioni in parte identiche, nel lavoro di Kuhn *Second Thoughts on Paradigms* (cfr. SRS, p. 211, nota 3), da lui preparato nel marzo dello stesso 1969 per una conferenza. Questo testo è stato pubblicato in italiano in T.S. Kuhn, *Nuove riflessioni sui paradigmi*, in *La Tensione essenziale* cit., pp. 321-350 e, nel seguito, verrà indicato come NRP. Per la relazione tra NRP, il *Poscritto 1969* e altri scritti contemporanei di Kuhn si veda NRP, p. XIX, nota 8.

³² SRS, p. 220.

³³ *Ibidem*.

³⁴ *Ibidem*.

³⁵ NRP, p. 322.

ti del termine ed è necessario distinguerli³⁶; il primo conserverà un significato «globale»³⁷ come quello di «costellazione»³⁸, già usato nella stesura originaria³⁹, e avrà per lui una valenza principalmente «sociologica»⁴⁰; così il paradigma viene sostituito da Kuhn dalla «matrice disciplinaria»⁴¹. La matrice è composta da «elementi ordinati di vario genere» ed è disciplinaria perché si riferisce al possesso di una intera «disciplina particolare»⁴². Il secondo sarà una sorta di elemento di quella costellazione e consisterà in un risultato scientifico diventato «esemplare».

Al di là dei nomi di «matrice» o di «esemplare», ciò che Kuhn in definitiva vuol affermare nel Poscritto è:

- 1) che c'è una separazione tra il sapere teorico (o quello delle regole esplicitamente fornite dalla comunità scientifica) dal sapere pratico (ovvero di come si risolvono i problemi) e
- 2) che vi sono assunzioni di natura metafisica nei modelli della fisica da cui dipende la matematica che viene usata nelle varie teorie.

Interpretato secondo i MTS, il punto 1) indica che Kuhn intuisce appena le due separate forme di organizzazione della scienza: quella basata sui principi OA e quella basata sui problemi OP; e il punto 2) intuisce che alla base delle teorie ci sono opzioni di fondo che determinano il rapporto tra matematica e fisica, senza però distinguere tra IA e IP.

5. I fondamenti della scienza: le ricerche dei matematici e quelle dei fisici

Da quanto esposto concludiamo che tra i fisici e i matematici i secondi si sono avvicinati di più ai fondamenti della scienza e in più modi. La loro progressione (Hilbert - Brouwer - Goedel) inoltre è stata molto pressante e quasi stringente⁴³.

³⁶ SRS, p. 220; NRP, p. 322: «Qualunque sia il loro numero, gli usi nel libro del termine 'paradigma' si dividono in due insiemi che richiedono sia termini diversi che discussioni separate».

³⁷ *Ibidem*.

³⁸ Ivi, p. 212 «Da un lato esso rappresenta l'intera costellazione di credenze di valori, tecniche e così via, condivise dai membri di una data comunità. Dall'altro, esso denota una sorta di elemento di quella costellazione di significato, le concrete soluzioni-di-rompicapo della scienza normale».

³⁹ Ivi, p. 23. Tale accezione è la terza nell'elenco della Mastermann.

⁴⁰ Ivi, p. 212: «Il primo significato del termine, chiamiamolo sociologico».

⁴¹ Ivi, p. 220: «Tutti o la maggior parte degli oggetti che costituiscono l'insieme delle credenze condivise dal gruppo e che il mio testo originario chiamava paradigmi, o parti di paradigmi o paradigmi, sono gli elementi costitutivi della matrice disciplinaria, e in quanto tali formano un tutto unico e funzionano assieme» In realtà egli ha già coniato questo termine alcuni mesi prima, come si evince da Kuhn, NRP, p. 325. Infatti, mettendo da parte le differenze espressive dovute alla diversità dei traduttori (ad esempio, in SRS la matrice è «disciplinaria» e non «disciplinare») i due brani coincidono nel contenuto.

⁴² *Ibidem*.

⁴³ La progressione dei fisici alla ricerca dei fondamenti della loro scienza è data da A. Drago, *Lo sviluppo storico della meccanica quantistica visto attraverso i concetti fondamentali della fisica*, in «Giornale di Fisica», 43, 2002, pp. 143-167, in particolare dalla tabella storica.

Alla luce dei FdM, si possono vedere il programma di Hilbert e il tdG in maniera positiva. Dopo il 1925 il Programma di Hilbert in realtà ha lavorato per scoprire, benché solo indirettamente, questi FdM. Infatti ha affrontato due difficoltà storiche: trattare un'intera teoria con l'OP (la metamatematica: obiettivo avvicinato) e trattare l'IP della stessa metamatematica; lo fa Goedel con le funzioni ricorsive (obiettivo riconosciuto).

A loro volta i fisici sono stati costretti a cercare i fondamenti della loro scienza, dopo le crisi radicali dell'etere e dei quanti. Hanno allora costruito due teorie interamente nuove, che hanno poi dato grandi risultati. Ma hanno soffocato l'opzione sulla matematica, che pure era evidente nella contrapposizione tra quanti (IP) e continuo ideale (IA); perché hanno considerato la matematica come un puro strumento. Inoltre hanno riconosciuto che ci dovrebbe essere un'opzione sulla logica (Birkhoff e von Neumann), ma non sono riusciti a concretizzarla. Quindi non sono riusciti a definire i fondamenti della fisica e anzi hanno pensato che non ce ne fosse più bisogno.

Anche nella storia della fisica i fondamenti sono stati mancati. Anzi, il più famoso di tutti gli storici, Kuhn, li ha percepiti solo lontanamente. Piuttosto, ha fatto meglio Koyré, che (nel periodo storico da lui studiato, la nascita della scienza moderna) ha introdotto un preciso conflitto (tra scienza antica e scienza moderna) e ha sottolineato la differenza radicale negli autori tra IP e IA.

Con ciò notiamo la infelice eredità che ci ha lasciato Kuhn, la cui storiografia è rimasta inconclusiva sia all'interno della fisica classica (non definizione del concetto di paradigma, conflitto concettuale tra incommensurabilità e continuità storica causata dalla inspiegabilità della Gestalt, irrazionalismo dovuto a questo concetto), sia all'esterno (sconfitta in BBT). Il che alla fine ha portato alla paralisi della storiografia della fisica, che da allora ha perso l'attenzione di tutti quegli studiosi generici (non solo storici della scienza, ma anche filosofi e scienziati) che erano stati attirati da SRS.

Una simile infelice eredità è anche quella lasciata dal tdG, che poiché ha contestato il programma di Hilbert, è stato confinato nelle sue conclusioni, al fine di non renderle dirompenti (vittoria di Brouwer? Radicale inversione dei fondamenti della Matematica?). Con ciò si è giunti ad una quasi paralisi della ricerca sui FdM, salvo stanche riproposizioni del programma di Hilbert in versioni modificate⁴⁴.

Notiamo ora che nel secolo XX alcuni episodi hanno fatto più rumore di altri: il lancio del programma di Hilbert (seguito dalla inaudita definizione di tutti i problemi fondamentali della Matematica), l'opposizione radicalmente esclusivista dell'intuizionismo di Brouwer, la sorpresa del risultato negativo di Goedel che ha fermato il programma di Hilbert, la dichiarazione di Kuhn di conoscere la struttura di tutte le rivoluzioni scientifiche. Rivendendo retrospettivamente la storia del secolo, notiamo che proprio questi episodi, se hanno fatto progredire, hanno però anche frenato più degli altri la ricerca sui fondamenti della scienza.

⁴⁴ Sembra che per la intellettualità dell'Occidente si sia realizzato il fato di Tantalò; come la filosofia occidentale non è pervenuta a conoscere il noumeno, così la ricerca sulla scienza è pervenuta a individuarne i fondamenti. Con ciò il pensiero occidentale si è condannato ad una ricerca infinita senza chiare direzioni, quella avvenuta nel XX secolo.