

ANTONINO DRAGO (*)

Storia delle teorie fisiche secondo le loro due scelte fondamentali: la matematica e l'organizzazione della teoria

1. INTRODUZIONE

Come è noto, negli ultimi decenni sono state rivalutate delle matematiche (dette genericamente costruttive) che sono differenti da quella classica, sostanzialmente perché quest'ultima è fondata sull'uso dell'infinito in atto e le prime usano invece solo l'infinito potenziale (1).

D'altra parte, già nel 1919, Weyl aveva sostenuto che di tutta la matematica classica i fisici, in realtà, usano solo quella « elementarmente definibile », cioè poco più dei numeri razionali e delle loro funzioni. Questo è stato dimostrato recentemente (2). Ciò fa ritenere che le leggi sperimentali di una teoria fisica debbano essere le stesse in qualsiasi matematica; ma i suoi principi, in quanto sono proposizioni idealizzanti la realtà, possono risultare esprimibili con la matematica classica ma non con quella costruttiva, e viceversa. In definitiva, data una teoria, alcune sue formulazioni si legano a una matematica e le altre all'altra. Ciò è stato confermato dall'introduzione della matematica costruttiva in termodinamica e nella meccanica (3). Anche se resta da completare il lavoro su tutte le teorie fisiche, sin da ora si può affermare che ogni teoria fisica può scegliere effettivamente quale matematica adottare.

Inoltre, le teorie classiche, che in passato sono state formulate usando una matematica sostanzialmente costruttiva, cioè quelle di L. e S. Carnot, sono organizzate non secondo l'esempio della geometria euclidea, e cioè per principi evi-

(*) A. DRAGO, Istituto di Fisica Teorica, Università di Napoli.

(1) E. BISHOP, *Foundations of Constructive Analysis*, Mc Graw-Hill, New York 1967. Una versione popolare è quella di A. CALDERA, « *Constructive Mathematics* », *Sil. Am.*, 24, 1979, 134-142. La versione più adatta alla fisica, secondo me, è quella di O. ASHBY, *Computable Analysis*, Mc Graw-Hill, New York 1980. Quest'ultima può essere riconosciuta la più simile alle matematiche dell'approssimazione, invocata da P. DUBROU (La teoria fisica, il Mulino, Bologna 1975) per una maggiore aderenza della fisica ai dati sperimentali.

(2) H. WEYL, *Il Continuo*, Bilibopoli, 1978, nota 6. Si veda anche S. FEFERMAN, « Theories of finite type related to mathematical practice », in *Handbook of Mathematical Logic*, North-Holland, 913-971.

(3) A. DRAGO, « Carathéodory's Thermodynamics and Constructive Mathematics », *lett. Nuovo Giorno*, 34, 1982, 52-56; « Dimensional Theory and Constructive Mathematics », *lett. Nuovo Giorno*, 37, 1983, 409-412; « Classical Mechanics Formulations and Constructive Mathematics », inviato a *Arch. Math. Logik Grundl.*; « There are Two Mathematical Ways to Construct a Physical Theory » inviato alla stessa rivista; A. COPPOLA, A. DRAGO, « La storia dei principi della dinamica alla luce della matematica costruttiva », *Atti IV Congresso Nazionale di Storia della Fisica*, Como 1983, 122-127. (Qui la formulazione della Aeschikeman è erroneamente annoverata tra quelle costruttive).

denti posti all'inizio di una serie infinita di deduzioni possibili, ma ponendo un problema come centrale (ad es. in Sadi Carnot: l'efficienza delle macchine termiche) e facendo dipendere dalla sua soluzione la soluzione di ogni altro problema di quel campo di fenomeni (4). Ogni teoria fisica poté scegliere effettivamente tra due organizzazioni differenti. Si noti che le suddette due scelte riprendono, precisandole, le due scelte fondamentali che Koyré ha visto all'origine della fisica moderna, il passaggio dal finito all'infinito e la geometrizzazione dello spazio (5); su questo si ritornerà alla fine.

Considerando i risultati possibili di queste due scelte otteniamo quattro « modelli di teoria scientifica », che chiameremo: euclideo-matematica classica, problematico-matematica classica, euclideo-matematica costruttiva, problematico-matematica costruttiva.

Qui ci si propone di verificare se questi quattro modelli incrivano alla storia della fisica tanto da fungere da categorie interpretative dell'evoluzione delle teorie fisiche più rappresentative, fino a quelle attuali. In effetti ne risulterà una ricostruzione storica dell'evoluzione delle teorie fisiche che va al di là delle determinazioni storiche da loro subite (dovute alle contingenze sperimentali e tecnologiche), al di là della falsa coscienza degli scienziati e al di là dell'aprioristica e ingenua fede nell'inevitabile progresso delle teorie. In ultimo si ricaveranno delle indicazioni per la fisica teorica, per la storiografia della scienza e per il rapporto scienza-società.

2. PREISTORIA DELLA FISICA

All'inizio dei tempi, la fisica si trovava confusa con l'attività intellettuale in genere, soprattutto con ciò che oggi chiamiamo cosmogonia e filosofia. La prima è chiaramente una teorizzazione di tipo problematico. La seconda invece ha avuto un'ampia varietà di organizzazioni teoriche. Quindi possiamo affermare che anche allora esisteva una varietà di modelli teorici, sia pure della attività intellettuale generica. La sua prima e grande crisi si ebbe con i sofisti (6): tutta l'attività intellettuale subì una critica radicale che ne mise in dubbio la sua stessa validità. Dopo i sofisti, il lavoro della ragione apparve totalmente insicuro e sempre soggetto a fornire una prova indipendente della sua validità. Per di più, Zenone introdusse i famosi paradossi sull'infinito (che sono alla base

(4) A. DRAGO, C. MORDELLI, « Perché Fondine logico dei principi della termodinamica inverta Fondine di scoperta? », *Atti IV Congresso...*, cit., 113-121.

(5) A. KOYRÉ, « Influence of Physiophilic Trends on the Formulation of Scientific Theories », in P. FRAXON (ed.), *Validation of Scientific Theories*, p. 177-178, e, più ampiamente, A. KOYRÉ, *Del mondo antico all'antico infinito*, Feltrinelli, Milano 1970.

(6) Se si dà credito alla interpretazione di SOHO-REYER, *Lavoro manuale e lavoro intellettuale*, Feltrinelli, Milano 1976, e anche « La scienza come conoscenza alienata », *Sapere*, ott. 1980, 11-23, la critica dei sofisti è proprio la critica all'immersione nella società dell'uso della moneta, cioè al passaggio dalla « società di produzione » alla « società di appropriazione ». Secondo SOHO-REYER questo fatto storico fu determinante per il passaggio alle astrazioni fondanti i concetti necessari per costruire una qualsiasi scienza.

del dissidio tra le due matematiche moderne, menzionate prima) il che mise la ragione in contrasto addirittura con se stessa.

A ciò reagirono Socrate, Platone e Aristotele. In particolare questo ultimo compì il ben noto sforzo di giungere a un'attività intellettuale la più sicura possibile. Aristotele organizzò la filosofia in modo che essa si diede solide fondamenta, sicurezza nel procedimento, validità nelle sue conclusioni, grande ampiezza di applicazioni, autonomia rispetto alle altre possibili attività intellettuali. Con ciò egli produsse una filosofia sistematica e, in particolare, una primordiale scienza sistematica (logica, scienze naturali) che assicuravano al massimo grado la fondatezza del lavoro intellettuale razionale. In più la teoria come sistema fu da lui razionalizzata in astratto, proponendo un'organizzazione-tipo della teoria scientifica, la scienza apodittica (7), che procede da principi autoevidenti a una infinità di deduzioni.

Successivamente, Euclide diede il primo esempio di teoria scientifica sistematica (la geometria euclidea) seguendo proprio quell'organizzazione teorica che era stata proposta da Aristotele. Con ciò la geometria si elevò a sistema di pensiero autonomo e completo. Da allora, per 2000 anni, questa geometria restò l'unica teoria matematica e fece apparire l'organizzazione aristotelica della teoria scientifica come l'unica possibile.

3. STORIA DELLA FISICA CLASSICA - I

La sua nascita è avvenuta con una polemica radicale di Galilei contro l'aristotelismo. Ma riguardo all'organizzazione della teoria scientifica, Galilei restò a lungo incerto. Egli comunque al più sostituì uno dei suoi postulati, quello della evidenza intuitiva, con la richiesta dell'evidenza sperimentale. Invece Newton, quando portò a compimento la prima teoria fisica, la meccanica, adottò di nuovo il modello aristotelico, restaurando anche l'auto-evidenza dei suoi principi con l'introduzione di alcuni concetti metafisici (spazio, tempo, forza). Da allora la teoria fisica apparve un'attività razionale ben fondata, efficace e autonoma da altre attività intellettuali.

In realtà, prima di Newton ogni campo di fenomeni fisici, relativo a un nostro organo di senso (ottica, acustica, ecc.), aveva suggerito una teorizzazione di tipo problematico (che cosa è la luce? che cosa è il suono?) e aveva usato una matematica legata alle misure approssimate. Quindi tutti questi campi seguivano un modello di teoria differente da quello newtoniano. Ma le loro teorizzazioni primordiali, una dopo l'altra (prima l'ottica, poi l'acustica) (8) vennero incluse,

(7) E. W. BEYR, « *Foundamental Postures of Contemporary Theory of Science* », *Brit. J. Phil. Sci.*, 1, 1950, 291-302, ne indica per primo la rilevanza per la scienza. M. KAPLAN, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, Oxford University Press, Oxford 1971, lo inserisce diffusamente nella storia della geometria di Euclide. F. WILSON, « *Explanation in Aristotle, Newton and Toulmin* », *Phil. Sci.*, 35, 1968, 291 e 400, ci basa l'analisi dei principi della dinamica.

(8) Si ricordi che l'ottica geometrica fu spiegata da Newton supponendo la luce composta da particelle materiali, ipotesi che fu sconfessata all'inizio dell'Ottocento dalle esperienze di interferenza. La soluzione dell'ottica alla meccanica fu clamorosa anche perché Cartesio era stato uno stretto finitista in fisica, e quindi anche in ottica.

come casi particolari, dalla teoria meccanica e quindi vennero inglobate nel suo modello teorico. Il modello newtoniano di teoria (euclideo-matematica classica) dominò per secoli, essendo il modello dell'unica teoria fisica generale.

Tuttavia, all'inizio dell'Ottocento ci si accorse faticosamente che (se non questo modello di teoria, per lo meno) la teoria meccanica non era universale. L'ottica fisica era irriducibile alla meccanica, e i fenomeni termici apparvero come « uno scacco alla ragione » (9). Proprio come aveva sostenuto la « scienza giacobina » (10), furono la chimica e la termodinamica (di S. Carnot) a proporre un nuovo modello di teoria scientifica, quello problematico e con matematica addirittura finita (11).

Un mio lavoro precedente (12) ha evidenziato che la termodinamica di S. Carnot aveva un'organizzazione esplicitamente differente da quella euclidea: il problema dell'efficienza delle macchine termiche era posto al centro della teoria e la soluzione di esso comportava la soluzione di altri problemi (leggi dei gas). Ma tutti i suoi contemporanei giudicarono « troppo difficile » la sua teoria (13). E parimenti restò oscurato colui, L. Carnot, che aveva introdotto quel modello di teoria in tutte le scienze accreditate del suo tempo: la geometria, l'analisi e la meccanica (14). Ambedue sono tuttora considerati al più come degli « ingegneri » teorici (15).

La teoria termodinamica fu sistemata, 25 anni dopo S. Carnot, da Clausius e Kelvin secondo il modello euclideo, con i principi universali posti all'inizio di tutta la teoria. Ciò non fu senza un costo: quello di rendere i principi incompleti (16) e interdipendenti (17). Allo stesso scopo, un simile prezzo fu pagato per formulare la nuova teoria elettromagnetica. Per di più la termodinamica, e non la meccanica, riuscì a interpretare formalmente la chimica: il risultato fu la chimica-fisica, che usava una matematica che non faceva uso essenziale dell'analisi infinitesimale. Il che fu all'origine di un'ampia polemica sulla contrapposizione tra meccanica e termodinamica; nelle quali però non si riconobbero né i modelli teorici differenti né la vera differenza nei principi (della termodina-

(9) L'espressione è di E. MEYERSON, *Identità si realità*, 1908, ed è riferita al contrasto di tutta la termodinamica, e in particolare l'entropia, con la teoria fisica, e in particolare la meccanica. Questo scacco incominciò già con Fourier, come riportano molti storici.

(10) Si veda ad es. C. C. GILLISPIE, « The Encyclopédie and the Jacobin Philosophy of Science », in M. CLAGETT (ed.): *Critical Problems in History of Science*, University of Wisconsin Press, 1969, 255-290.

(11) A. DRAGO, « Aspetti della storia del rapporto chimica-matematica », comunicazione al I Congresso di Storia della Chimica, Torino 1985.

(12) A. DRAGO, C. MORDEILLO, « Perché Poine... », *ibid.*

(13) Per esempio, M. CHARLES, in *Compt. Rend. Acad. Sci.*, 1869, 115-117.

(14) A. DRAGO, C. MORDEILLO, « Perché Poine... », *ibid.*

(15) C. C. GILLISPIE, in *Saint Carnot et l'Émer de la thermodynamique*, CNRS, Paris 1975, 23-31.

(16) Sulla incompletezza di questa formulazione si veda F. T. LANSBERG, « Is Thermodynamics an Axiomatic Discipline? », *Bull. Inst. Phys. and Phys. Soc.*, 1964, 150-156. La introduzione per la formulazione della termodinamica ha spinto Born a chiedere « Cambridgeity sua formulazione e normale ». (M. BOAS, *La filosofia della causalità e del caso*, Boringhieri, Torino 1962, cap. 5). L. TEXA, *Generalized Thermodynamics*, MIT, 1966 dice che, almeno dopo Onsager, « Thermodynamics becomes a master scheme consisting of closely knit, deductive systems devised for different types of situation » (p. 106).

(17) A. DRAGO, C. MORDEILLO, « Perché Poine... », *ibid.*

mica fu sopravvalutato il 1° principio, oscurando il 2° e la loro dipendenza reciproca). Né venne riconosciuta la novità della stessa chimica classica, che era fondata sul problema dell'esistenza degli atomi e che usava numeri o discreti o essenzialmente razionali. Essendo troppo diversa dalla teoria newtoniana la si considerò universalmente uno stadio primitivo di una successiva teoria.

4. STORIA DELLA FISICA CLASSICA - II

In effetti Galilei innovò lo schema aristotelico anche perché introdusse la matematizzazione della natura. Cartesio la potenziò e Newton e Leibniz introdussero l'analisi infinitesimale basata sull'infinito in atto. I paradossi di Zenone sembrarono sorpassati d'un colpo. Allora parve concreto il progetto di formalizzare matematicamente ogni ragionamento della teoria fisica e di giungere presto o tardi alla soluzione di ogni problema (fisico e non). Da allora la meccanica apparve per due secoli l'unica teoria fisica possibile.

In realtà, gli esperimenti danno sempre dei numeri troncati, cioè razionali; la teoria fisica d'altra parte usa numeri reali. Per saltare a essi o si postula tacitamente il continuo (come ha fatto Newton) o si giustifica il passaggio mediante operazioni fisiche, introdotte nei principi della teoria, che possano dare i numeri irrazionali (analogamente a come, dal tempo dei greci, si sono estesi i razionali mediante le costruzioni con riga e compasso, o con altri strumenti geometrici) (18).

Galilei restò incerto di fronte a ciò. Invece Newton saltò al continuo usando addirittura un'estensione dei numeri reali (gli infinitesimi, che oggi sappiamo essere gli iperreali), senza dare tecniche operative a giustificazione di ciò.

Il primo a formulare una teoria fisica con un passaggio ai reali, giustificato operativamente, fu L. Carnot. Infatti i suoi principi avevano come operazioni solo le funzioni trigonometriche, per le quali erano noti strumenti di calcolo fin dall'antichità. Ben operativa era la matematica della termodinamica di S. Carnot, essendovi solo operazioni razionali (salvo la sua errata legge adiabatica). Quando Clausius riformulò la termodinamica, invece, introdusse nei principi l'integrale (di Q su T), che solo dopo qualche decennio fu realizzato operativamente (19). E ancora più tardi furono realizzati strumenti per calcolare equazioni differenziali, le tecniche matematiche con le quali Newton, senza giustificarlo, era passato al continuo. Perciò, solo dall'inizio del Novecento tutte le tecniche che i fisici adottarono per saltare dai razionali al continuo hanno acquistato un significato operativo. Si noti, inoltre, che anche operativamente la tecnica newtoniana delle equazioni differenziali è la più potente tra quelle usate in altri principi di teorie fisiche, perché ad es. include tutte le funzioni

(18) Ho trattato questi argomenti in « There are Two Mathematical Ways to Construct a Physical Theory », inviato a *Arch. Math. Logik Grundl.*

(19) H. LEIBNIZ, *Leçons sur les constructions géométriques*, Gauthier-Villars, 1950. In effetti, già Galilei usava integrare operativamente una figura pensandone un suo modello, realizzato su un materiale a spessore costante; ma questi erano metodi inscortibili dai matematici.

trigonometriche. Questa enorme potenza della matematica newtoniana, usata dalla meccanica newtoniana, fa capire sia il fatto che Newton passò addirittura alla metafisica degli iperreali, sia l'aver escluso per tre secoli la possibilità che la teoria fisica usasse una matematica più semplice, sia l'assenza di obiezioni scientifiche rilevanti (20).

Tutti volevano estendere la fisica assicurandosi lo strumento matematico di massima potenza: sintomatico il caso di Lagrange che era famoso per aver rifondato l'analisi sull'algebra elementare, ma nel suo trattato di meccanica tornò a usare l'analisi infinitesimale di Newton. Ma, per ironia della storia, fu proprio Fourier, colui che diede nuovi sviluppi della tecnica matematica newtoniana, a convincersi che i fenomeni termici richiedevano uno schema teorico diverso da quello meccanico (21).

5. STORIA DELLA FISICA MODERNA

Pur occorrendo altro studio sul tema, sin da ora si possono sottolineare i seguenti fatti storici.

Alla crescente importanza (del modello teorico) della termodinamica reagì Boltzmann inseguendo l'obiettivo di una teoria dei fenomeni termici del tipo euclideo, che cioè potesse come principi evidenti le equazioni della meccanica classica e dai quali poi ricavare tutte le leggi dei fenomeni termici. Comunque egli scelse di utilizzare una matematica discreta (spazio delle fasi). Ancor oggi si discute se il limite termodinamico sia ben fondato o no; e a ragione, perché non solo esso dovrebbe far passare dal discreto al continuo, ma anche dovrebbe decidere tra continuo classico o costruttivista.

L'accettazione accademica della meccanica statistica fu quasi contemporanea (primi del Novecento) a quella della relatività ristretta. Quest'ultima si basava su un problema posto come fondamentale: trovare le trasformazioni che lasciano invarianti le leggi fisiche per cambiamento di sistemi di riferimento che viaggiano a velocità relativa costante. Con la relatività ristretta si è avuto per la prima volta una teoria fisica a modello problematico con matematica classica (22). Questo è il fatto che segna la nascita della fisica moderna; perché si è riconosciuta l'esistenza di modelli di teoria scientifica differenti da quello newtoniano, e non tanto perché si sono unificate alcune teorie: meccanica ed elettromagnetismo.

(20) L'unica obiezione rilevante fu l'opposizione di G. Berkeley. Pol A. Koršé, « *Influences...* », cit., ricorda a pag. 186 che solo Mach e Bridgman misero in dubbio la necessità di usare il continuo in fisica. Dò una bibliografia su questo argomento nel lavoro citato in (14).

(21) J. FOURIER, *Théorie analytique de la chaleur*, Parigi 1822, « *Introduzioni* ».

(22) In effetti fu una accettazione dubbiosa; molti, Einstein compreso, videro la relatività ristretta come una teoria solo iniziale di una successiva vera teoria. Ma si noti che proprio in quegli anni (come P. DUBOIS, *La teoria...*, cit., p. 294 ed. ingl., ci testimonia) « H. Poincaré per primo affermò e insegnò formalmente che il fisico può usare una dopo l'altra diverse teorie incompatibili tra loro, secondo quel che crede giusto ».

Infine, la crisi di quel periodo fu grande perché la scoperta dei quanti obbligò a pensare mediante variabili discontinue. Il lungo periodo di gestazione della meccanica quantistica può essere considerato come l'incertezza tra più di un modello di teoria fisica, piuttosto che la incertezza tra onde e corpuscoli, semplici materializzazioni di problemi teorici ben più ampi. In realtà, la teorizzazione successiva evitò il discontinuo (ma con una eccezione, vedi le matrici di Heisenberg), formalizzando lo stato del sistema mediante l'ampiezza di probabilità (spirito di Copenaghen); il che richiedeva la matematica classica, in contrasto con le formalizzazioni statistiche, che utilizzano una matematica potenzialmente finitista. Inoltre, la teoria fu organizzata secondo lo schema euclideo, ma a costo di perdere totalmente la evidenza dei principi, tutti riferiti alla ψ , un concetto che è il meno intuitivo possibile.

Da allora sono comparse sempre più teorie che usano il modello problematico — matematica costruttiva: la teoria degli automi e della computabilità, la teoria dell'informazione, la teoria dei giochi (e forse anche la termodinamica dei processi irreversibili). In particolare, la teoria della computabilità, una vera teoria fisica, rinnova il modello carnotiano di teoria: è limitata alla matematica costruttiva e la sua organizzazione è basata sul problema di stabilire il massimo insieme di funzioni computabili; Turing ci è riuscito proponendo anche qui una macchina ideale.

6. CONCLUSIONI

1) Il rapido excursus storico ha verificato la gravidanza dei quattro modelli di teoria fisica (23). Tutta la storia delle teorie fisiche appare come una formidabile risposta alla critica dei sofisti all'attività intellettuale in genere, e ai paradossi di Zenone in particolare. Episodio principale è stata la teoria di Newton, il quale scelse l'organizzazione teorica filosoficamente più solida e la matematica idealmente più potente. Le scelte di Newton di fatto si oggettivarono in alcuni concetti intesi metafisicamente: rispettivamente, nello spazio, inteso come sede aprioristica di tutti i potenziali fenomeni, e nel tempo, inteso come variabile iperreale dei calcoli. Si noti che questi due concetti sono quelli basilari, iniziali della sua teoria. La successiva storia della fisica fu il trionfo del modello newtoniano che apparve eterno e restò inconscio, assieme all'origine dei concetti basilari della teoria. D'altronde, la sua potenza esplicativa sembrò senza confini e suggerì a Laplace il ben noto « sogno ». Ma la storia successiva è anche un lento disvelamento dei quattro possibili modelli di teoria fisica. Lento, perché le crisi dei fondamenti della fisica (newtoniana) furono accettate dai fisici solo mediamente, come crisi dei concetti materiali della meccanica newtoniana: la forza (con la termodinamica che propose l'energia), lo spazio (con l'elettromagnetismo

(23) Nella letteratura ingegneristica già da tempo si sosteneva la pluralità di modelli teorici (Ackoff, Gusevskan, Mitroff). In particolare, V. Torricelli individua quattro modelli di teoria, non dissimili da quelli qui presentati (Comunicazione al Convegno della SILFS, S. Gessignano 1983, in corso di stampa, e « La teoria dei sistemi », in E. AZZARI (a cura di), *I sistemi tra filosofia e scienze*, SEL, 1978, 131-149).

che propose il campo nel vuoto), il continuo-materia (con la scoperta degli atomi e dei quanti). E come crisi di concetti materiali sono state risolte, sfruttando le passate analisi (Mach) dei fondamenti della fisica teorica, senza giungere a rinnovarli profondamente.

2) Tutto ciò oggi suggerisce che la tendenza a unificare tutta la fisica in una teoria unica si realizzerebbe solo al prezzo di conformare tutti i fisici a teorizzare in un unico modello di teoria scientifica. Altrettanto si può ripetere con la tendenza a considerare ogni nuova teoria come la necessaria estensione di tutte le precedenti. Piuttosto, il vero lavoro dei fisici teorici appare quello di trovare per ogni teoria fisica tutte le formulazioni corrispondenti ai quattro modelli di teoria.

3) Le due scelte sono inerenti alle teorie fisiche, come dimostrano le loro materializzazioni, nella meccanica newtoniana, in spazio e tempo. Ma nella loro generalità sono anche di natura metafisica (nel senso che Popper le deve considerare non falsificabili). Allora esse appaiono come la metafisica intrinseca alla fisica teorica. Bogdanov, Burtt, Husserl, Popper, Kuhn, Agassi, Feyerabend, Naess l'avevano preconizzata. Ma risulta essere del tutto diversa da quella finora indicata dai filosofi: casualità, determinismo, materialismo, ecc. (D'altra parte essa non esaurisce certo la metafisica di una teoria fisica: ed es. la meccanica ha più formulazioni che, pur seguendo il modello newtoniano, dipendono da diverse metafisiche: ad es. quelle di Newton e di Maupertuis).

4) Gli storiografi della fisica hanno accertato che la fisica si è fondata su scelte metafisiche, ma quasi tutti le hanno considerate motivazioni caduche dei risultati finali. Invece Burtt intitola un suo capitolo « The Metaphysical Foundations of Modern Science the Key to this Problem » (il pensiero moderno) (24) egli dice: « Metaphysics they (i fisici) *tended more and more to avoid, so far as they could avoid it; so far as not, it became an instrument for their further mathematical conquest of the world* » (25). Questa va a coincidere con l'ascrivere l'ultima realtà alla matematica, la quale sa descrivere perfettamente i corpi materiali nello spazio e nel tempo. Koyré giunge a identificare la metafisica intrinseca alla scienza moderna: « i) *the destruction of the cosmos, that is, the substitution for the [...] finite world [...] of the infinite universe [...]* ii) *the geometrization of space [...]* » (26). Sono due scelte basate sul rapporto fisica-matematica, ma ignare della possibilità di scelta (ben più profonda che tra il finito e l'infinito) tra due

(24) E. A. BURTT, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Routledge and Kegan, 1924.

(25) *Ibidem*, 303.

(26) A. KOYRÉ, « *Infinitiv...* », *cit.*, 178. Si noti anche il periodo: « The birth of modern science is concomitant with a transformation (we could even call it mutation) of the axiomatic framework of human thought, with a shift in the evaluation of intellectual knowledge as compared with the knowledge given to us by sense perception, and with the discovery that — as Descartes suggested — the idea of the infinite is a clear and positive idea, in spite of its being (falsely) expressed by a negative term, and that is therefore a true one — that is, an idea which gives us access to the real world » (p. 181).

tipi di matematiche. Questo limite intellettuale (27) impedisce a Koyré di chiarire la scelta II) che egli sempre postilla con altre definizioni, aggiunte alla rinfusa: «matematizzazione della scienza» o (ed è quella realizzata dai Carnot) «una nuova concezione della scienza». Infine, notiamo che le due scelte fondamentali danno un possibile significato preciso all'idea di Kuhn che due teorie fisiche possono essere incommensurabili.

5) Galtung (28), come contributo fondamentale all'epistemologia della scienza sociale, ha proposto quattro tipi di modello di sviluppo, ottenibili con due scelte fondamentali che possono essere viste come la scelta dell'organizzazione della produzione sociale e la scelta del progresso sociale. Galtung ne ricava quattro modi di produzione della scienza che corrispondono a quelli qui individuati. Ciò dà un legame scienza-società che fa ipotizzare il superamento della divisione tra storia internista e storia esternista.

(27) Lo si trova, insieme al suo nome, soltanto in *History of Philosophy*, edito da J. Koyré, tradotto in italiano da G. Basso, ed. Einaudi, 1968, p. 102. Il *Journal of Philosophy* di Koyré non ha mai parlato di un limite intellettuale. Il *Journal of Philosophy* di Koyré non ha mai parlato di un limite intellettuale.

(27) Lo si trova in A. Koyré, *Essays d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, 1971, 30-33, dove egli attribuisce il continuo solo alla matematica che usa l'infinito in atto, mentre invece anche la matematica costruttiva può trattare il continuo.

(28) J. GALTUNG, *Ideology and Methodology*, Eilen, 1977, vol. 1, cap. 1.