



Federigo Enriques

**Causalità e determinismo
nella filosofia
e nella storia della scienza**



www.liberliber.it

Questo e-book è stato realizzato anche grazie al sostegno di:



E-text

**Web design, Editoria, Multimedia
(pubblica il tuo libro, o crea il tuo sito con E-text!)**

<http://www.e-text.it/>

QUESTO E-BOOK:

TITOLO: Causalità e determinismo nella filosofia e
nella storia della scienza

AUTORE: Enriques, Federigo

TRADUTTORE:

CURATORE:

NOTE:

CODICE ISBN E-BOOK: n. d.

DIRITTI D'AUTORE: no

LICENZA: questo testo è distribuito con la licenza
specificata al seguente indirizzo Internet:
<http://www.liberliber.it/online/opere/libri/licenze/>

COPERTINA: n. d.

TRATTO DA: Causalità e determinismo nella filosofia
e nella storia della scienza / Federigo Enriques. -
Roma : Atlantica, [19..]. - 109 p. ; 24 cm.

CODICE ISBN FONTE: n. d.

1a EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 10 maggio 2017

INDICE DI AFFIDABILITA': 1

0: affidabilità bassa

1: affidabilità standard

2: affidabilità buona

3: affidabilità ottima

SOGGETTO: PHI016000 FILOSOFIA / Storia e Studi / Moderni

DIGITALIZZAZIONE:

Paolo Alberti, paoloalberti@iol.it

REVISIONE:

Catia Righi, catia_righi@tin.it

IMPAGINAZIONE:

Paolo Alberti, paoloalberti@iol.it

PUBBLICAZIONE:

Catia Righi, catia_righi@tin.it

Liber Liber



Se questo libro ti è piaciuto, aiutaci a realizzarne altri.
Fai una donazione: <http://www.liberliber.it/online/aiuta/>.

Scopri sul sito Internet di Liber Liber ciò che stiamo realizzando: migliaia di ebook gratuiti in edizione integrale, audiolibri, brani musicali con licenza libera, video e tanto altro: <http://www.liberliber.it/>.

Indice generale

Liber Liber.....	4
Capitolo I.	
DETERMINISMO ED INDETERMINISMO NEL PENSIERO GRECO.....	9
1) Determinismo e razionalismo in Democrito.....	9
2) Platone.....	13
3) Aristotele.....	14
4) Il determinismo e la scuola di Megara.....	17
5) La questione del libero arbitrio all'epoca ellenistica.....	18
6) Difficoltà teologiche.....	20
Capitolo II.	
IL DETERMINISMO NELLA SCIENZA E NELLA FILOSOFIA DEI SECOLI XVII E XVIII. .	23
7) La nozione di causa per Galileo.....	23
8) La spiegazione scientifica secondo Descartes.....	28
9) Spiegazione newtoniana.....	29
10) Il principio di Leibniz della ragion sufficiente..	31
11) Valore euristico del principio di ragione: gli assiomi della dinamica.....	39
12) Causa aequat effectum.....	45
13) Principii di massimo e minimo.....	51
14) Il principio di ragione come criterio regolativo della costruzione scientifica.....	55
15) Realismo dialettico.....	57
16) L'empirismo psicologico di Locke.....	60

17) La definizione di Berkeley: esse est percipi.....	63
18) La critica della causalità di David Hume.....	65
19) Il sensualismo di Condillac.....	68
20) La critica di Kant.....	70
21) Critica della dottrina Kantiana: Helmholtz.....	75
22) Determinismo e libertà del volere.....	80
Capitolo III.	
DETERMINISMO E INDETERMINISMO NEL SE- COLO XIX E AGL'INIZI DEL XX.....	84
23) Il determinismo nella fisica matematica: la for- mula di Laplace.....	84
24) Meccanicismo e positivismo.....	87
25) La dottrina di Comte.....	90
26) L'idealismo romantico.....	93
27) Contingentismo, pragmatismo, empirismo radica- le.....	95
28) Probabilità e legge statistica.....	97
29) La nuova critica epistemologica: Mach.....	99
30) Pearson.....	101
31) Poincaré.....	102
32) Enriques.....	105
33) Meyerson.....	108
Capitolo IV.	
CAUSALITÀ E FISICA QUANTISTICA.....	113
34) L'elettro-magnetismo e la teoria della relatività.	113
35) Atomi e corpuscoli.....	118
36) I fenomeni elementari della fisica quantistica..	126
37) Relazioni d'incertezza di Heisenberg.....	128

38) Le interpretazioni dei fisici: Heisenberg, Bohr, Schroedinger, Dirac, Eddington.....	132
39) Opinioni in senso opposto di Planck, Einstein, Langevin.....	140
40) La causalità non risultato scientifico ma problema filosofico.....	145
41) La questione del determinismo per i neo-positivisti.....	147
42) Il determinismo come presupposto della scienza.....	150
43) Subiettivo e obiettivo nella scienza.....	155
44) La non individualità dei corpuscoli della fisica microscopica.....	157
45) Conferme e critiche.....	161
46) Conclusione.....	163

FEDERIGO ENRIQUES

CAUSALITÀ E DETERMINISMO
NELLA FILOSOFIA
E NELLA STORIA DELLA SCIENZA

Capitolo I.
DETERMINISMO ED INDETERMINISMO
NEL PENSIERO GRECO

1) *Determinismo e razionalismo in Democrito.*

Le idee che i moderni hanno fatto valere nella filosofia e nella scienza si riattaccano con continuità al pensiero greco, sia che esse vengano trasmesse attraverso la tradizione medioevale o che sieno più strettamente riprese dalle antiche fonti all'epoca del Rinascimento. Conviene perciò ricordare brevemente in qual modo il nostro problema sia stato trattato dai pensatori più rappresentativi dell'antichità.

Il rigido determinismo meccanico è stato esplicitamente affermato da Leucippo e da Democrito (circa 460-360 a. C.) e si trova alla base del sistema atomistico da essi sviluppato.

«Nulla si fa a caso, ma tutto avviene per ragione e necessità» dice Leucippo (in Diels, «Fragments der Vorsokratiker», fr. 2).

Secondo Democrito «tutte le cose passate presenti o future sono governate dalla necessità», afferma Plutarco (in Strom 7. Diels A 39).

Alla visione dell'universo fisico concepito come un mondo di atomi che si muovono in tutte le direzioni e si urtano reciprocamente risponde nella mente degli autori un criterio razionalistico della verità e della scienza. Già i filosofi che li hanno preceduti esprimono in qualche modo questo criterio.

Anassimandro (circa 600 a. C.) spiegava che la Terra resta isolata nello spazio senza cadere perchè essendo posta ugualmente rispetto agli altri corpi non ha ragione di muoversi piuttosto verso una parte che verso l'altra, verso l'alto o verso il basso, e così non potendo muoversi contemporaneamente in versi opposti, sta ferma. In questo magnifico argomento, che ci viene riferito da Aristotele¹, si ravvisa non soltanto la scoperta della relatività dell'alto e del basso, sì anche il *principio leibniziano della ragion sufficiente*, o almeno una applicazione particolare di questo principio, quale si incontrerà tre secoli e mezzo più tardi in Archimede, là dove postula che una bilancia caricata di pesi uguali debba trovarsi in equilibrio: postulato che Leibniz appunto ha avuto occasione di richiamare come prima esemplificazione del suo principio.

Nell'evoluzione del pensiero greco da Anassimandro a Democrito i filosofi hanno acquistato sempre più la

¹ *De Coelo*, II, 13 (19).

consapevolezza di ciò che costituisce l'esigenza propria del razionalismo. Anzitutto la nozione che le cose *sensibili* non sono propriamente *intelligibili*, che la rigida discriminazione logica fra l'essere e il non essere, e così anche gli assiomi dell'uguaglianza ecc. valgono soltanto per gli oggetti del nostro pensiero, ma non per quelli che sono dati nella percezione: infatti rispetto ai sensi la fisicità equivale ad un cambiamento lentissimo e l'uguaglianza si confonde con la piccola differenza, rispetto a cui perde valore l'assioma che cose uguali ad una terza sono uguali fra di loro.

Il riconoscimento di questa distinzione si collega negli Eleati (Parmenide, Zenone, V secolo a. C.) ad una critica approfondita del concetto della materia, traverso alla quale si afferma rigidamente il criterio razionalistico: la vera esistenza spetta, non a ciò che può essere comunque *sentito*, ma a ciò che viene *pensato*; al pensiero deve rispondere un oggetto necessariamente esistente.

Democrito ha tratto dagli Eleati lo stesso criterio, che assume per lui un significato tanto più ricco, poichè il suo mondo non si risolve più in una costruzione astratta come l'Essere continuo ed indifferenziato di Parmenide, anzi comprende tutta la realtà sensibile che si cerca di spiegare «salvando le apparenze» cioè come effetto di un soggiacente sistema meccanico.

Or dunque il razionalismo assume per Democrito questo preciso significato: che tutto ciò che è pensabile si avvera in qualche parte del Tutto infinito. Così esisteranno mondi con più soli e lune ed anche mondi dove la

mancanza di acqua rende impossibile la vita, ecc. Similmente tutte le forme geometriche dovranno trovarsi realizzate negli atomi e saranno possibili atomi grandi come un mondo.

Secondo Simplicio (in Diels, A 38) questa infinità di forme atomiche, che permette di spiegare razionalmente tutti i fenomeni, si giustifica proprio in base al principio che, dopo Leibniz, si chiama della ragion sufficiente: perchè non c'è ragione che essi posseggano una certa figura, piuttosto che un'altra².

«Una sola spiga di grano su una immensa pianura – diceva il democriteo Metrodoro di Chio – sarebbe cosa altrettanto straordinaria come un solo mondo nella infinità dello spazio (Diels A 6), giacchè esiste tutto ciò che si può pensare» (ibidem B 2).

Siffatte opinioni razionalistiche portano la naturale conseguenza che nella scuola democritea si dovesse concepire il rapporto di causa ed effetto come una connessione necessaria dei concetti che vi rispondono nella nostra mente. Dalla logica dell'Abderita potrebbero trarsi conferme in questo senso; ma la questione viene ulteriormente delucidata per noi dall'esame di altri filosofi, ed in ispecie di Platone ed Aristotele.

2 Per lo stesso motivo secondo Teofrasto (in Diels A, 8) Leucippo ammetteva già un numero infinito di forme atomiche.

2) *Platone.*

Platone che Sesto Empirico accomuna a Democrito nella lotta contro l'empirismo di Protagora, svolge i motivi razionalistici del suo pensiero, guardando piuttosto all'aspetto formale della scienza, che al suo oggetto come scienza della natura. Perciò la scienza platonica si riferisce ad un mondo intelligibile di *Idee* che sono modelli semplificati delle cose sensibili. Di ciò che cade sotto i nostri sensi, ed è mutevole, generabile e corruttibile, non può aversi che una conoscenza verosimile e probabile. In tal guisa è chiaro che l'esigenza della connessione dei concetti della nostra mente, non porta di necessità un ordine determinato delle cose, anche se si accorda il principio che «tutto ciò che diviene ha una causa» (Filebo, 26 E).

In una prima fase dell'evoluzione del suo pensiero, Platone ha concepito la scienza come una classificazione statica degli enti, sul modello della geometria; l'avvicinamento al tipo rappresentato dall'Idea è stato ritenuto da lui come espressione delle regolarità che ritroviamo nelle classi di oggetti naturalmente definite, quando diciamo, per esempio, che un certo minerale cristallizza nella forma del cubo, trascurando i piccoli smussamenti che si palesano nei cristalli considerati in concreto. Per ciò che concerne gli organismi viventi l'Idea del tipo che tende a realizzarsi nella forma adulta più perfetta, viene anche concepita come causa dello sviluppo della pianta

o dell'animale. In una fase ulteriore della sua evoluzione filosofica, Platone – avendo incontrato verosimilmente il pensiero di Democrito – si volge a spiegare nel Timeo il processo cosmico; e perciò introduce due ordini di cause, cioè le *cause* finali foggiate sul tipo della volontà umana e la *cieca necessità meccanica* (Timeo 48 e segg.).

Si vedono qui gli antecedenti della concezione di Aristotele.

3) *Aristotele.*

Aristotele cerca di adattare l'ideologia platonica alla rappresentazione della realtà, rifiutando la concezione dell'Idea come astratta o separata dalle cose sensibili. La sua classificazione delle cause, che si presenta come una sintesi delle dottrine precedenti (specie nel I della Metafisica), disorienta un lettore moderno, per il senso più vasto che il filosofo dà a questo termine. Ma se – lasciando da parte le «cause dell'essere» – si guarda alle «cause del divenire», che sono le cause nel senso nostro, si può dire che Aristotele, come Platone, concepisce due ordini di cause: le *cause finali* e le *cause efficienti*; quest'ultime comprendono le cause meccaniche; ma più generalmente affermano il possesso di qualità cui si legano certi effetti.

Dal razionalismo precedente Aristotele ha anche preso la veduta che il rapporto di causa nella natura risponde ad un rapporto logico nella nostra mente; così gli effetti si vedono derivare dalle cause come le conseguenze dai principi. Dice, per esempio, negli *Analitica posteriora* (I, 2 (6)): che dal concetto stesso del nostro sapere «segue necessariamente che la scienza dimostrativa procede da principi veri, da principi immediati, più noti delle conclusioni, di cui sono la causa e a cui precedono».

Ora è essenziale notare che il principio di causalità come è concepito da Aristotele lascia un posto a ciò che è affatto contingente ed accidentale e che costituisce il *caso*. Perchè, secondo lui, si danno cause soltanto di ciò che è o avviene necessariamente o almeno di solito. Su di ciò Aristotele fornisce alcune spiegazioni nella *Fisica* e nella *Metafisica*. La scienza costituendo la ricerca delle essenze delle cose, si riduce a fissare i caratteri delle Idee (generi, specie) a cui appartengono, e perciò non vi può essere scienza che del generale. Questa veduta che noi accogliamo nel senso che le cause semplici producono per interferenza complicazioni difficili a valutare, segna per il filosofo il limite teorico della spiegazione scientifica. Perciò, non si dà spiegazione dell'individuale, che non possa farsi rientrare in una regolarità necessaria o almeno verificata nella maggior parte dei fenomeni. Tanto fra le cose prodotte per arte dall'intelligenza umana, come fra quelle che avvengono in natura, accade di trovare l'accidentale che si sottrae alla regola e questo

si svolge in un dominio indeterminato, restando per noi profondamente oscuro (Phys. II 5). «S'intende da sè – dice in Met. 1065 a – che dell'accidente non esistono cause e principi, quali esistono dell'Essere in sè e per sè. Altrimenti tutto avverrebbe per necessità. Infatti, se questo fatto accade perchè ne accade un altro, e questo perchè ne accade un altro ancora, sino a un primo che non accade a caso ma per necessità, allora tutto avverrà necessariamente, a cominciare dal fatto che era causato come primo e sino a quello che si considera come effetto».

«Quest'ultimo fatto si era posto che fosse accidentale, invece tutto accadrebbe per necessità; il contingente e ciò che può avvenire e non avvenire verrebbero soppressi addirittura dal mondo dei fatti... In conclusione tutto al mondo avverrebbe per necessità: «le cause dalle quali per caso possono le cose avvenire sono infinite. Perciò il caso è oscuro al ragionamento umano» ed è causa accidentale: «anzi in assoluto non è causa di nulla».

Si potrebbe restare incerti se l'autore postuli una serie di cause umanamente inconoscibili, ovvero accolga senz'altro l'ipotesi di un vero indeterminismo. Ma questa seconda interpretazione risulta dal concetto, che l'autore stesso afferma, del libero arbitrio, anche come fondamento della responsabilità morale. Il principio del terzo escluso, non si applica alle cose future (De Interpr. IX). Qui è chiaro che l'A. intende risolvere appunto nel senso della libertà del volere una difficoltà che già si era presentata a quanto pare ai filosofi della scuola di Megara,

come conseguenza del determinismo e del razionalismo democriteo.

4) *Il determinismo e la scuola di Megara.*

Fra i discepoli della scuola di Megara Diodoro Crono diceva che ogni possibile è reale, perchè un possibile che non sia in alcun modo reale (cioè che non si avveri mai nello spazio e nel tempo) non sarebbe invero possibile. Questo argomento sembra a prima vista un sofisma o un semplice giuoco di parole, ma esaminato da vicino lascia scoprire un significato più profondo. In primo luogo esso appare come la formulazione dialettica astratta del razionalismo democriteo, per cui ogni cosa concepibile dal pensiero troverà posto nella infinità dello spazio e del tempo: è il postulato che si ritrova in Epicuro e poi nel poema di Lucrezio col nome di *vis infinitatis*.

Ma in secondo luogo sembra che Diodoro volesse affermare l'esigenza di un rigoroso determinismo anche per riguardo alla volontà umana, di cui il libero agire verrebbe infirmato a priori da un semplice principio di logica. Se si ammette che ogni proposizione debba essere incondizionatamente vera o falsa, l'affermazione di un evento futuro che dipende dal mio volere, sembra contrastare alla mia libera scelta: ciò che io mi rappre-

sento come possibile, e nel momento stesso in cui pendo incerto sulla decisione da prendere, si trova già scritto, per così dire, sul libro del destino, e la mia libertà sembra dunque risolversi in una mera illusione.

5) *La questione del libero arbitrio all'epoca ellenistica.*

La questione del determinismo e del libero arbitrio viene sempre più agitata dai filosofi dell'età ellenistica che, rotto in gran parte il nesso della filosofia con la scienza, si volgono a speculare sui problemi della vita morale. Fra questi gli stoici pur accogliendo e cercando di conciliare con le cause efficienti le cause finali, ammettono tuttavia il determinismo rigoroso della natura a cui il saggio deve assentire in vista di ciò che tutto l'universo è ordinato per bene degli uomini e degli dei: «Ducunt volentem fata, nolentem trahunt». All'opposto invece gli epicurei, che riprendono da Democrito il sistema atomistico, si allontanano dal determinismo introducendo l'idea di una piccola deviazione degli atomi, che Lucrezio designa come *clinamen*.

Invero Epicuro, avendo modificato il sistema cinetico democriteo col supporre che gli atomi cadano tutti per la forza del peso secondo la verticale, li fa deviare da questa per uno strappo minimo alla legge di gravità («per

paulum quo nihil posse fieri minus» dice Cicerone). E quest'ipotesi non risponde tanto al bisogno di spiegare i reciproci urti degli atomi cadenti, quanto all'esigenza di una morale individualistica che dà risalto al libero arbitrio, e lo suffraga colla evidenza del senso interno:

«Era ancor meglio portare fede alle favole degli dei, che esser asserviti alla necessità dei fisici; infatti la favola ci lascia la speranza di piegare gli dei onorandoli, ma non si può piegare la necessità» (lettera a Meneceo, 134).

Il diverso atteggiamento degli stoici e degli epicurei nella questione del libero arbitrio, è fatto per sorprendere un lettore moderno che si accosti a tale questione col preconconcetto di trovare il senso morale più rigido ed energico legato alla coscienza della libertà del volere. Qui il rapporto sembra invertito. Gli epicurei che professano una morale edonistica o utilitaria (sia pure intesa in senso non volgare) sentono il bisogno di postulare il libero arbitrio delle loro scelte, ispirate a criteri di temperanza e di prudenza.

Dall'altra parte gli stoici, che professano una morale del dovere e ad essa sono pronti a sacrificarsi fino alla virtù eroica, non hanno difficoltà ad accettare un mondo preordinato dalle provvidenza, dove anche il determinismo delle cause fisiche è sottoposto al raggiungimento degli scopi della natura. Questo esempio storico mostra che la stessa idea del determinismo può agire sulla coscienza morale dell'uomo in sensi affatto diversi: sia col promuovere l'abbandono alla *ignava ratio* cioè all'indif-

ferentismo di colui che si lascia trascinare dal fato, sia all'opposto come stimolo o ragione superiore di compiere fino in fondo la propria parte nel dramma della vita universale; così il soldato, che ha preso la consegna di un posto da difendere, vorrà far pagare cara la propria vita al nemico che lo assale, moltiplicando lo sforzo che deve rendere fruttuoso il sacrificio impostogli.

6) *Difficoltà teologiche.*

La questione del determinismo assume un significato sempre più connesso a preoccupazioni di ordine morale e religioso coll'avvento del cristianesimo, alla fine dell'età antica e durante il Medio Evo.

Le difficoltà che ammettono qualche soluzione nel campo della conoscenza umana necessariamente limitata, appaiono tanto più insuperabili di fronte al concetto dell'assoluto teologico. Se si attribuiscono incondizionatamente a Dio tutte le qualità che l'uomo considera come perfezioni – l'onnipotenza, la prescienza, l'infinita bontà – non si riesce più a vederle come logicamente compatibili. Perché, se Dio ha predeterminato l'ordine delle cose comprendente anche le azioni degli uomini, sembra spettare a Lui la responsabilità del male; e se per sfuggire a questa conclusione si attribuisce il male al libero arbitrio degli uomini, non si comprende più come

questa libertà di scelta possa accordarsi con la predestinazione divina.

Queste difficoltà sono apparse di buon'ora ai pensatori medievali. Già nel I secolo dopo il millennio, Pietro Damiano cardinale arcivescovo di Ostia si vede proclamare la totale incompetenza della dialettica in materia di fede:

«La dialettica non deve assurgere arrogantemente al diritto di padrona, ma deve essere come serva d'una signora (Ancilla dominae)»³.

Damiano era condotto a questa dichiarazione dal famoso argomento dialettico che dimostra il destino e l'impossibilità dei contingenti futuri per mezzo del principio di contraddizione. Com'è possibile che una semplice regola di logica metta in forse l'onnipotenza e la libertà di Dio, che sono il fondamento stesso della fede?

Damiano ricorda che queste regole sono state inventate per servire ai sillogismi, e non si riferiscono all'essenza e alla materia della realtà, ma all'ordine della discussione.

Non rientra nel nostro programma il discutere tale ordine di questioni. Ricorderemo soltanto che al problema della grazia e del libero arbitrio, della giustificazione per mezzo delle opere o per soccorso imperscrutabile della Provvidenza, si legano questioni largamente discusse dai teologi, sulle quali in particolare la Riforma

³ Cfr. E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, t. I (Paris, 1928) p. 555.

protestante, colla sua rievocazione ed interpretazione di Sant'Agostino, doveva separarsi dalla Chiesa cattolica.

Capitolo II.
IL DETERMINISMO NELLA SCIENZA
E NELLA FILOSOFIA DEI SECOLI XVII E
XVIII

7) *La nozione di causa per Galileo.*

Nelle speculazioni antiche, tramandate attraverso il medio evo ed elaborate in questo periodo anche in vista degli interessi religiosi che vi si collegano, si trovano i principali motivi che agiscono sulla filosofia e sulla scienza moderna.

Alla base della nuova fisica – quale si svolge da Galileo e dai suoi prossimi successori – c'è l'idea meccanica ripresa da Democrito, e con essa la distinzione di quelle che il Locke chiamerà *qualità primarie* della materia (estensione, figura, movimento e, secondo alcuni, anche impenetrabilità), dalle qualità secondarie (calore, colore, sapore...); le prime sono ritenute rispondere a qualche cosa di obiettivo, mentre le seconde sono considerate pure apparenze sensibili. È un fatto veramente caratteri-

stico della cultura di codesta età storica, che la stessa veduta si affacci a contrastare la metafisica aristotelica delle qualità, contemporaneamente o quasi in tutti i grandi spiriti che sorgono verso la fine del secolo XVI o al principio del XVII: così in Galileo, come in Giordano Bruno, in Daniele Sennert, in Sebastiano Basso, in Renato Descartes, in Pietro Gassendi, in Roberto Boyle, ecc. Anche se fra questi uomini si possono stabilire dei rapporti e riconoscere dei reciproci influssi, resta sempre notevole l'unanimità dei consensi in una concezione che diventa il programma della nuova scienza da costruire. E se pure questo programma, per realizzarsi nella dinamica di Newton, ha dovuto adattarsi ad un compromesso, coll'assumere il dato delle forze a distanza, non altrimenti spiegate, resta sempre che l'idea meccanica, benchè limitata dall'esigenza contrapposta del positivismo, ha dominato per tre secoli lo sviluppo della nostra fisica⁴.

L'idea meccanica porta naturalmente nella scienza la concezione di un determinismo, che può tutt'al più venir limitato da cause teologiche o per riguardo alla libertà del volere, nel campo dello spirito.

Per quel che concerne la fisica il determinismo è stato accolto, si può dire senza eccezione, anche da coloro che hanno messo in dubbio la metafisica meccanicistica.

⁴ Cfr. F. Enriques e G. De Santillana. *Compendio di storia del pensiero scientifico*, Bologna, 1938.

Ma si tratta di vedere come venga ad atteggiarsi codesta concezione.

In Galileo, in Keplero, e in genere nei fondatori della scienza moderna, essa assume un significato in rapporto al concetto della «legge naturale» e al principio della «semplicità della natura». Qui conviene rilevare un motivo pitagorico-platonico.

Pur dopo la battaglia vittoriosa condotta dai «nominalisti medievali» contro il *realismo*, che afferma reali le «qualità» o gli «universali», la teoria delle *Idee* di Platone sopravvive in qualche modo nel presupposto che gli oggetti del mondo fisico debbano distribuirsi in un certo numero di «specie» o di classi naturalmente definite, o risultare dal miscuglio di queste, ciascuna classe corrispondendo ad un tipo idealmente semplificato della cosa. Galileo trasferisce la concezione dell'Idea platonica dalle sostanze o cose ai rapporti di successione o di causalità fra gli *stati* o i mutamenti delle cose.

Vale la pena di richiamare in modo più preciso alcune idee che Galileo e i suoi corrispondenti esprimono intorno alla causa:

«Causa è quella, la quale posta segue l'effetto, e rimossa si rimuove l'effetto» (Opere, ed. Naz. IV, 22).

«Illa certa causa non est, quae sublata non tollitur effectus (Bonomicus, 495, B, l. c., pag. 52).

(IV, 233 operetta di G. Coresio) «Dato il medesimo effetto, ne seguirà sempre la medesima causa».

(VII, 443, dal dialogo dei Massimi sistemi) «nelle questioni naturali... la cognizione degli effetti è quella

che ci conduce all'investigazione e ritrovamento delle cause, e senza quella il nostro sarebbe un camminare alla cieca, anzi più incerto, poichè non sapremmo dove riuscirci volessimo, chè i ciechi almeno sanno dove e' vorrebbero pervenire».

(pag. 447) «so che di un effetto una sola è la cagione primaria e vera».

(pag. 471) « Se è vero che di un effetto una sola sia la cagion primaria, e che tra la causa e l'effetto sia una ferma e costante connessione, necessaria cosa è che, qualunque volta si vegga alterazione ferma e costante nello effetto, ferma e costante alterazione sia nella causa».

Ancora nelle opere di Galileo (X, 248) si trova una lettera di Luca Valerio, il quale ritiene chiaro per un intelletto geometrico con qualche lume di metafisica, o naturale o acquistato, «esser verità nota per sè stessa, che moltiplicandosi la virtù della causa sufficiente è necessario si moltiplichino la quantità dell'effetto, secondo la medesima moltiplicazione», sicchè «misuriamo con la quantità dello effetto la quantità della causa, sia in quanto all'estensione et intenzione come alla perfezione et nobiltà».

Rileviamo che in questi passi si esprime il concetto della linearità e univocità delle cause, per cui la natura viene figurata come un tessuto di leggi semplici interferentisi fra loro.

Invero non si nega il concorso di cause diverse nel produrre un evento concreto, ma si postula un'ideale scomposizione di questo in elementi semplici: che trova

il suo corrispondente nella decomposizione delle idee o nozioni in *idee semplici*, quale si vedrà generalmente ammessa dai filosofi contemporanei, per esempio da Descartes, da Locke e da Leibniz.

Un altro aspetto delle concezioni di Galileo risulta dall'aver egli ripreso, come si è detto, il sistema cinetico di Democrito. Ciò importa che si debbano considerare come *vere cause* soltanto le cause meccaniche. Che questa sia effettivamente la veduta di Galileo viene suggerito con molta evidenza dalla spiegazione che egli cerca per il fenomeno delle maree, partendo dalla rotazione della terra ed escludendo ogni azione della luna o del sole. C'è qui lo stesso presupposto che più tardi animerà Cartesiani e Leibniziani a rifiutare come «qualità occulta» la gravitazione newtoniana.

Si potrebbe obiettare che Galileo ha investigato le leggi della caduta dei gravi, assumendo la forza di gravità come un dato, e così recando il primo esempio di un modo di procedere positivo, quale fu sviluppato appunto da Newton. Ma Galileo stesso riteneva chiaro che il dato da lui assunto avrebbe dovuto essere spiegato a sua volta con ragioni meccaniche. Egli infatti (VII, 260) dice che della gravità si sa soltanto il nome, ma non si conosce l'essenza.

Che cosa implichi il concetto meccanico della causalità diremo più avanti.

8) *La spiegazione scientifica secondo Descartes.*

Intanto vediamo l'idea meccanica venire nettamente enunciata e spiegata da Descartes nella forma più rigida e come esigenza assoluta della nostra comprensione delle scienze della natura. Al termine della seconda parte dei *Principia Philosophiae*⁵ egli riassume il suo pensiero dicendo: «non alia principia in Physica quam in Geometria, vel in Mathesi abstracta, a me admitti, nec optari, quia sic omnine naturae phaenomena explicantur et certe de iis demonstrationes dari possunt».

Di fronte a Galileo, Descartes sente che ha in comune con lui il concetto della spiegazione meccanica:

«Je trouve, en général, qu'il philosophe beaucoup mieux que le vulgaire, en ce qu'il quitte le plus qu'il peut les erreurs de l'Ecole et tâche à examiner les matières physiques par des raisons mathématiques. En cela je m'accorde entièrement avec lui, et je tiens qu'il n'y a point d'autre moyen pour trouver la vérité»⁶.

Ma, proseguendo, a esaminare le leggi della gravità, lo accusa di aver «batî sans fondements» per non aver considerato «les premières causes de la nature». E già in una lettera precedente del 22 giugno 1637, aveva detto⁷:

«ni Galilée ni aucun autre ne peut rien déterminer touchant cela qui soit clair *ex demonstratis*, s'il ne sait,

5 «Oeuvres», VIII, 78.

6 Lettera a Mersenne, ott. 1638 in «Oeuvres», II, 380.

7 I, 392.

premièrement ce que c'est que la pesanteur et qu'il n'ait les grande principes de la Physique».

9) *Spiegazione newtoniana.*

Il criterio Cartesiano della spiegazione scientifica non è stato osservato da Newton. Come già abbiamo accennato, questi riprende invece il concetto di Galileo, mettendo alla base della sua dottrina le forze attrattive a distanza, accettate come dati positivi. Tuttavia l'autore stesso era ben lungi da credere di aver pôrto così una vera *spiegazione* dei fenomeni, perchè sentiva che di codeste forze gravitazionali si sarebbe pur dovuto assegnare le cause. Infatti, già nella prefazione ai «Principia Philosophiae naturalis» parla delle forze attrattive, accennando alle loro «cause ignote... che invano fin qui i filosofi cercarono di spiegare».

E nello *Scholium generale* che chiude il trattato, mentre confuta l'ipotesi dei vortici cartesiani, aggiunge:

«Ho spiegato fin qui i fenomeni celesti e quelli delle maree per mezzo della forza di gravità, ma non ho ricercato le cause della gravità stessa... io non sono riuscito ancora a dedurre dai fenomeni il perchè della suddetta proprietà della gravitazione, e non costruisco ipotesi (Hypotheses non fingo). Tutto ciò che non si deduce dai fenomeni è un'*ipotesi*, e le ipotesi – metafisiche, fisiche,

meccaniche, o riguardanti qualità occulte – non hanno luogo nella *Filosofia sperimentale*. In tale Filosofia le *Proposizioni* sono dedotte dai *Fenomeni*, e sono rese generali per mezzo dell'induzione. Così si riconoscono l'impenetrabilità, la mobilità e la forza dei corpi, le leggi del moto e quelle della gravità. E basta che la gravità esista e agisca secondo le leggi da noi esposte, e possa spiegare tutti i moti dei corpi celesti e del mare».

La spiegazione è avvalorata dall'accento che, subito dopo, Newton fa ad uno spirito od etere sottilissimo, pervadente tutti i corpi solidi e nascosto nella loro sostanza, per la cui forza ed azione le singole particelle dei varii corpi si attirano l'un l'altra a distanze minime, e meglio dall'abbozzo di una spiegazione meccanica che si trova nell'*Ottica*⁸.

Insomma si può dire che nella mente di Newton c'è ancora l'ideale di una spiegazione meccanica per «vere cause»; però accanto a queste s'introduce nella scienza la considerazione dei «precedenti positivamente accertati» (mediante induzioni generali da osservazioni ed esperienze); e così si prepara una nuova concezione puramente positivistica del rapporto causale come «legge di successione costante ed incondizionata»: che risponde all'aspetto obiettivo di codesto rapporto.

Del resto c'è nel pensiero di Newton sostanzialmente lo stesso concetto della causa che abbiamo ravvisato in Galileo. Questo si esprime nelle *Regulae philosophandi*,

8 «Optices», quaestio 313.

ove egli riafferma la semplicità della natura ed anche la sua uniformità, che Galileo aveva fatto valere nella lotta per il sistema copernicano.

Dice Newton:

Regola prima – «Non si debbono ammettere cause delle cose naturali oltre quelle che sono necessarie alla spiegazione dei fenomeni.

«I filosofi dicono: la natura non fa nulla invano, ed invano si farebbe per mezzo di più cause ciò che può essere fatto per meno. La natura è semplice e non fa sfoggio di cause superflue».

Regola seconda – «Effetti naturali dello stesso genere debbono riferirsi a cause uguali.

«Così la respirazione nell'uomo e nella bestia, la caduta di una pietra in Europa ed in America, la luce del fuoco quaggiù e nel sole, la riflessione della luce in terra e nei pianeti».

10) *Il principio di Leibniz della ragion sufficiente.*

Qual'è il significato filosofico della spiegazione meccanica, e dell'esigenza razionale che con essa vuol farsi valere in ordine alla causalità?

Abbiamo già visto che fino dall'antichità si sono rilevati due aspetti diversi del rapporto di causa; sia l'aspetto obiettivo, cioè la successione necessaria che crediamo

di scorgere come legge della natura, sia l'aspetto subiettivo, che si riconosce nel rapporto di dipendenza logica fra l'idea della causa e l'idea dell'effetto. La distinzione fra questi due sensi della causalità, che abbiamo già trovato in Aristotele, viene ripresa nel Medio Evo per esempio da Alberto Magno, che distingue la causa in senso reale dalla *ratio* in senso logico⁹. Senonchè la deduzione degli effetti da una qualità, intesa al modo aristotelico, si risolve in una pura spiegazione verbale, come quella che formerà oggetto della satira di Molière:

Quare opium facit dormire?
Quia habet virtutem dormitivam.

La spiegazione ricercata dai nuovi fisici meccanicisti ha un significato ben più profondo, poichè, traducendo i dati del moto in termini quantitativi, tende ad esprimere nelle equazioni di esso qualche cosa che si conserva, come a dire un oggetto o un rapporto invariante, che dia ragione del nesso fra la causa e l'effetto. Quale sia il vero significato filosofico di ciò che in tal guisa viene presupposto come fondamento della spiegazione causale, avremo a discutere più avanti. Qui giova riconoscere il senso razionale che i filosofi contemporanei hanno scorto nel nuovo concetto della causalità meccanica.

La distinzione della ragione dalla causa, che già ricompare in Descartes¹⁰ viene esplicitamente formulata

9 VII. Eth. I, 4.

10 Ch. Wolff in due capitoli (970 e 971) della *Philosophia prima sive Ontologia* (Francoforte e Lipsia, 1730) discorre degli an-

da Leibniz, col suo *principio della ragion sufficiente*. In più scritti di lui se ne ritrova l'enunciato press'a poco con le stesse parole. Citiamo per esempio il passo seguente della *Monadologia* (§ 32):

«aucun fait ne saurait se trouver vrai ou existant, aucune enonciation véritable, sans qu'il y ait une raison suffisante pourquoi il en est ainsi et non pas autrement, quoique ces raisons, le plus souvent ne puissent point nous être connues»¹¹.

Questo principio appariva al suo autore ad un tempo come logico e metafisico; infatti da una parte egli lo riattaccava al concetto della saggezza divina, i cui disegni, scrutati al lume della ragione, dovevano rivelarsi a priori a «celui qui connaît assez les choses»¹², dall'altra lo deduceva dal criterio fondamentale «*praedicatus inest subiecto*» precisando che «Il faut toujours qu'il y ait quelque fondement, de la connexion des termes d'une proposition qui se doit trouver dans leurs notions»¹³.

Ma il principio stesso di cui si discorre deve essere chiarito specialmente nel suo significato scientifico. Poco lume recano, a prima vista, la deduzione che l'au-

tedenti del principio leibniziano: esso differisce dal «nihil esse sine causa» degli scolastici, ma coincide col principio cartesiano «Nulla res existit de qua non possit quaeri quoniam sit ratio cur existat», se pure Descartes, a differenza di Leibniz gli sembri confondere spesso la ragione colla causa.

11 G. W. Leibniz, *Opera philosophica*, Ed. Erdmann, pag. 707.

12 Ibidem, pag. 716.

13 *Philosophische Schriften*, Ed. Gerhardt Bd. II, pag. 56.

tore ne trae della «identità degli indiscernibili», e meno ancora le considerazioni teleologiche della «Theodicea» o dei «Principii della natura e della grazia», dove si mira a scagionare l'Autore di tutte le cose da ogni responsabilità del male che ha dovuto mettervi, come connesso necessariamente col bene, oggetto della sua scelta. Il decreto d'Iddio – dice nel primo degli scritti citati (n. 52) – consiste unicamente nella risoluzione che Egli prende, dopo aver paragonato tutti i mondi possibili, di scegliere il migliore e di ammetterlo all'esistenza con un Fiat onnipotente, insieme a tutto ciò che quel mondo contiene. «Della perfezione suprema di Dio – dice nel secondo scritto (n. 10) – segue che Egli, producendo l'universo, ha scelto il miglior piano possibile, in cui vi è la più gran varietà unita al più grande ordine; in cui il terreno, il luogo, il tempo, sono i meglio preparati; in cui il maggior effetto è reso dai mezzi più semplici, e le creature hanno la massima potenza, conoscenza, felicità e bontà che l'universo poteva consentire. Infatti, poichè tutti i possibili pretendono all'esistenza nell'intelletto di Dio, il risultato di tutte queste pretese dev'essere il più perfetto mondo attuale che sia possibile. Senza di che non sarebbe possibile render ragione perchè le cose sieno andate così e non altrimenti».

In luogo d'indugiarsi sull'aspetto metafisico della questione, assai più giova richiamare alcuni esempi che il Leibniz stesso adduce in rapporto alla meccanica, la cui costruzione formava allora uno dei principali oggetti di ricerca dei grandi pensatori matematici. In un passo del-

la seconda lettera a Clarke¹⁴ e in qualche altro luogo, egli dice che Archimede ebbe già ad impiegare il principio di ragion sufficiente in un caso particolare, postulando che una bilancia caricata con pesi eguali deve essere in equilibrio, perchè non vi è ragione che discenda da una parte piuttosto che dall'altra. Nella terza lettera a Clarke (n. 2), Leibniz adopera il suo principio per fornire una dimostrazione critica della relatività del moto:

«Lo spazio è alcunchè di assolutamente uniforme, e senza le cose che vi si trovano, un punto dello spazio non differisce da un altro. Di qui segue, supposto che lo spazio sia in se stesso qualcosa oltre l'ordine delle cose fra loro, che non può esservi una ragione perchè Dio, conservando le posizioni dei corpi fra loro, abbia situati i corpi così e non altrimenti, e perchè tutto non sia stato preso a rovescio, per esempio, con uno scambio dell'oriente coll'occidente... Ma se lo spazio non è altro che quell'ordine o rapporto, e non è proprio niente senza i corpi, tranne la possibilità che ve ne siano posti, quei due stati, l'uno qual'è l'altro supposto a rovescio, non differiscono punto fra loro...».

Nei ragionamenti citati viene postulato che «si omnia utrobique se habeant eodem modo in Hypothesibus, nulla potest esse differentia in conclusionibus»¹⁵.

14 Ed. Erdmann, p. 748.

15 *De Analysi notionum et veritatum*, in «Opuscules et fragments inédits de Leibniz», par L. Couturat, Paris, 1903 (pag. 389).

A questo corollario, inteso nel senso più largo, sembra potersi ridurre infine anche il significato generale del principio leibniziano. Per spiegare il quale dobbiamo richiamare il motivo fondamentale del razionalismo democriteo.

Dicemmo già che, secondo lo spirito di questo razionalismo il pensiero è criterio dell'esistenza: ciò che può essere concepito (senza contraddizione) deve avverarsi nell'infinito del Tutto. Leibniz ha ripreso e approfondito tale motivo, meditando sull'idea stessa della possibilità.

Egli fa valere una nuova esigenza della ragione, che porta l'unità del Tutto. Non è lecito rappresentarsi l'intera realtà come una somma di parti indipendenti, siccome viene suggerito dal sistema atomistico; per conseguenza non si può giudicare se qualcosa sia o no concretamente possibile in base ad un corrispondente concetto che non involga contraddizione. Se ancora vogliamo chiamare (logicamente) possibili i concepibili¹⁶, dobbiamo dire che non tutti i possibili sono *compossibili*: in altre parole esistono a priori infiniti sistemi di possibilità che rispondono a tanti mondi possibili, ma che si escludono reciprocamente; e tra di essi uno solo si avvera, cioè il nostro mondo reale.

Dice Leibniz: «Principium autem meum est, quidquid existere potest, et aliis compatibile est, id existere, quia ratio existendi prae omnibus possibilibus non alia ratio-

16 «Possibiles sunt termini de quibus demonstrari potest nunquam in resolutionem occurruram contradictionem», in Leibniz-Couturat, pag. 371.

ne limitari debet, quam quod non omnia compatibilia. Itaque nulla alia ratio determinandi, quam ut existant potiora, quae plurimum involvat realitatis».

Qui vogliamo notare anzitutto che il concetto leibniziano risponde ancora al nostro criterio della possibilità fisica. Anche oggi, nella discussione scientifica, si ritiene di dover render ragione di ciò che, a priori possibile, non si avveri nel mondo della osservazione o dell'esperienza, cercando di mostrare l'incompatibilità del caso supposto con altre leggi della natura: così, per esempio, quando gli astronomi cercano di spiegare perchè le masse stellari rimangano entro certi limiti, dell'ordine di grandezza del nostro sole, mostrando che masse superiori si spezzerebbero.

Tuttavia il senso teleologico della spiegazione di Leibniz potrà apparire in contrasto con una sana intuizione della scienza. Bisogna approfondire l'esame del suo pensiero per comprendere quale significato scientifico si nasconda dietro la formulazione metafisica. A tal uopo pongasi che una causa y venga rappresentata come funzione dell'effetto x , l'univocità delle cause essendo supposta secondo il concetto galileiano: $y = f(x)$. Allora un massimo o un minimo della funzione $f(x)$ – punto della curva $y = f(x)$ ove la tangente riesce parallela all'asse delle x – si distingue dai punti vicini per ciò, che la funzione $x(y)$ assume in questi generalmente *due* valori e resta determinata soltanto nel punto di massimo.

A tale veduta Leibniz fa sicura allusione in un passo alquanto oscuro della Theodicea (n. 8) ove dice: «come

nelle matematiche, quando non v'è nè un massimo nè un minimo, cioè niente di distinto, tutto procede indifferentemente, o quando ciò non è possibile, non si fa niente affatto; così può dirsi della perfetta saggezza la quale non è regolata meno dalle matematiche, che se non vi fosse l'ottimo di tutti i mondi possibili, Dio non ne avrebbe prodotto alcuno».

Dunque in Leibniz si riconosce la veduta che i processi della natura debbono rispondere alla determinazione di massimi e minimi. Osservazioni anteriori ed antiche influiscono su questa veduta; per esempio la legge di riflessione della luce si lascia dedurre dal principio che il raggio luminoso deve percorrere il cammino più breve (Erone); e la legge della riflessione risponde al minimo del tempo impiegato a percorrere la traiettoria (Fermat).

Diremo più oltre come questo criterio porti ad enunciare importanti leggi della dinamica (quali si esprimono coi così detti principii variazionali); ma fin d'ora si può rilevare che la giustificazione di tali principi, dedotti da una apparenza teleologica, si lascia basare su un presupposto deterministico, più o meno chiaramente intuito dagli autori della loro scoperta. Così appunto il Crusius¹⁷ interpreta il principio leibniziano dicendo che

17 C. A. Crusii, «Ausfuerliche Abhandlung von dem rechten Gebrauche uud der Einschraenkung des sogenannten Satzes vom Zureichenden oder besser Determinirenden Grunde», trad. dal latino di C. F. Krausen, Lipsia, Langenheim, 1766. Cfr. in ispecie: pag. 78 (ragion determinante) e pag. 140, 141.

esso consiste nell'univoca determinazione dell'accadere per mezzo delle cause, concepite, non nella loro essenza obiettiva, ma dai loro contrassegni nella mente umana, per i quali si rende possibile la univocità degli effetti. E più chiaramente il Petzoldt¹⁸ lo chiarisce dicendo che «ogni qualvolta le circostanze che concorrono alla produzione di un dato fenomeno ci permettono di concepire che esso possa aver luogo in un certo numero di modi a priori egualmente ammissibili, quello tra questi modi che effettivamente si realizza differisce dai rimanenti pel fatto che, mentre per ciascuno di questi, dato che si producesse, si potrebbe indicarne almeno un altro egualmente concepibile a priori (*gleichberechtigt*), per esso invece ciò non si può fare».

11) *Valore euristico del principio di ragione: gli assiomi della dinamica.*

Per approfondire il senso del principio leibniziano della ragion sufficiente non giova richiamare le sottili distinzioni che intorno ad esso hanno elaborato il Crusius ed altri dopo di lui, riuscendo in qualche modo ad una classificazione delle relazioni determinanti: si tratta di critiche minuziose con poco valore effettivo, cui trop-

18 «Einführung in die Philosophie der reine Erfahrung», Lipsia, 1900 (cfr. G. Vailati, *Scritti*, pag. 316).

po spesso si abbandonano i filosofi quando hanno smarrito il senso degli interessi scientifici connessi a un'idea o ad un principio. Meglio è esaminare alcuni dei più importanti sviluppi che si collegano al principio stesso nel campo della scienza.

Essi sono o sembrano essere di due ordini:

1) Applicazioni del principio per cui si ritiene di fornire la dimostrazione a priori di alcune verità generali, che costituirebbero gli assiomi della scienza;

2) controllo esercitato al lume del principio stesso su la possibilità di rappresentare con un certo ordine di concetti un dato insieme di oggetti o di fenomeni; in altre parole: uso del principio come criterio regolativo della costruzione scientifica.

Per chiarire il primo di questi significati conviene risalire di là del Leibniz, poichè una certa consapevolezza dell'esigenza razionale che si esprime nel nostro principio appare invero, come si è detto, anteriormente alla sua formulazione.

Già Aristotele (in *Phys.* IV, 8) argomenta che se il moto d'un proietto che ha ricevuto un impulso iniziale fosse possibile nel vuoto (siccome riteneva Democrito) non vi sarebbe ragione perchè il mobile si arrestasse più qua o più là, e quindi dovrebbe andare all'infinito: in questo che secondo la mentalità finitista dello Stagirita suona assurdo, si lascia scorgere verosimilmente la tesi di Democrito stesso, il cui sistema esigeva il presupposto del moto naturale degli atomi, cioè il nostro principio d'inerzia.

Una qualche veduta, più o meno oscura, di tale principio si può scorgere in tutte le correnti di pensiero della scolastica o del Rinascimento che sono influenzate dall'atomismo; ma la veduta più chiara e ricca di significato (la composizione del moto inerziale colle variazioni di velocità dovute alle forze) si riconosce soltanto nell'opera matura di Galileo¹⁹. Il quale vi perviene per due vie diverse: sia meditando sulle condizioni che rendono intelligibile il sistema copernicano, sia attraverso lo studio delle leggi della caduta dei gravi.

Le due vie sono entrambe indicate nel «Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo». L'A. considera il moto di una palla su di un piano orizzontale come caso limite di quello su di un piano inclinato, ascendente o discendente, e poichè in quest'ultimo caso il moto è accelerato o rispettivamente ritardato dalla gravità, ne deduce che nel primo caso il moto deve continuare uniformemente all'infinito²⁰. Egli passa quindi a definire il moto relativo²¹, rilevando come in questo si componga-no due moti, ed è condotto quindi ad enunciare che una palla «uscita dal pezzo (di artiglieria) seguirebbe il suo moto per la linea retta che continua la dirittura della canna, se in quanto il proprio peso non la farebbe declinar da tale dirittura verso la Terra»²². In virtù di questo

19 Non in Leonardo da Vinci come è stato sostenuto da altri. Cfr. art. «Inerzia» nell'Enciclopedia Italiana.

20 «Opere», ed. naz., VII. pag. 173.

21 l. c., VII. pag. 197.

22 l. c., VII, pag. 201.

principio d'inerzia si rende intelligibile la relatività del moto, che risponde alle difficoltà sollevate dagli anticonpnicani, e che l'A. stesso espone poco appresso nel medesimo dialogo²³: «Rinserratevi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto coperta di alcun gran navilio e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti...» e vedrete che il moto della nave per nulla disturba quello di cotali animalletti, ed anzi si somma a questo per modo da essere indiscernibile.

Il principio d'inerzia è stato dunque guadagnato da Galileo come risultato di una grande induzione, tratta in parte da fenomeni familiari; ma non vi è dubbio che l'A. lo consideri fondato, in qualche modo, a priori, perchè avendo concepito le forze cause d'accelerazione anzichè di velocità, tolta la causa vede il moto conservarsi immutato. E ciò appare chiaramente da diversi passi dei «Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze»²⁴.

Invero nulla mancava alla veduta dell'inerzia di Galileo, se pure la mentalità concreta del nostro toscano non abbia sentito il bisogno di darne una formulazione astratta ed universale come principio o legge della natura. Il suo pieno significato viene riconosciuto da Baliani e da G. Ballo²⁵, così come da Descartes, che fu condotto a riflettere su ciò da una conversazione avuta alla fine

23 l. c., VII, pag. 212.

24 «Opere», VIII, pag. 243.

25 Cfr. R. Giacomelli, in Atti Acc. Napoli, 1912.

del 1618 con un galileiano (I. Beeckmann)²⁶. «Je suppose – scrive a Mersenne, il 13 novembre 1629 – que le mouvement qui est une fois imprimé en quelque corps y demeure perpétuellement, s'il n'en est osté par quelque autre cause» c.à.d. que «quod semel in vacuo incoepit moveri, semper et aequali celeritate movetur». E lo stesso principio si ritrova, con altre parole, nelle prop. 37 e 39 della Parte II dei «Principia Philosophiae»²⁷ accompagnato dalla spiegazione che lo fa apparire fondato a priori sulla mancanza di una causa che acceleri o ritardi il moto di qualcosa su cui non agiscono forze.

Dopo ciò apparirà naturale che Leibniz consideri a sua volta il principio d'inerzia come un assioma che consegue dal principio di ragione. Egli ricorda invero lo «axioma philosophorum jam Aristoteli adhibitum: quidquid semel movetur semper moveri eodem modo, nisi superveniet impedimentum»²⁸. Il quale si lascia dimostrare da ciò che non si potrebbe dare ragione del cessare del moto piuttosto in un certo momento che un poco prima.

Ancora fra gli assiomi figura la prima legge del moto nei «Principia» di Newton: «ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto uniforme e rettilineo, se qualche forza ad esso applicata non lo costringe a mutarlo»; dove la legge assume invero il suo pieno significato in rapporto alla composizione del moto inerziale

26 Cfr. «Oeuvres», ed. Adam et Tannery, I, 71-72 e X. 219.

27 «Oeuvres», VIII, pag. 62 e 63.

28 Cfr. Leibniz-Couturat, pag. 625.

colla variazione portata da un campo di forze, secondo la lex II.

Si può affermare che il carattere a priori di questi assiomi della dinamica viene postulato in generale dai pensatori matematici per tutto il secolo decimottavo, e ancora trova difensori fra i filosofi nel secolo seguente. Basterà citare D'Alembert che nel suo «*Traité de Dynamique*»²⁹ sviluppa una lunga deduzione del principio d'inerzia, ch'egli esprime colle seguenti leggi:

«1^{ère} loi: Un corps en repos y persistera à moins qu'une cause étrangère ne l'en tire».

«2^{ème} loi: Un corps mis en mouvement par une cause quelconque, doit y persister toujours uniformément et en ligne droite, tant qu'une nouvelle cause différente de celle qui l'a mis en mouvement, n'agira pas sur lui...».

Che significato hanno queste testimonianze storiche? Se esse provano che i principii della dinamica non sono stati acquisiti come semplice risultato di osservazioni e di esperienze, ma in gran parte coll'approfondire ragioni che ne giustificano la nostra rappresentazione concettuale, si deve dire perciò che la dinamica ha proprio il carattere di verità necessaria ed universale?

Nessun pensatore consapevole delle esigenze del pensiero dei nostri tempi accedrebbe, io credo, a quest'ultima conclusione. È troppo chiaro che i ragionamenti con cui si pretende stabilire, come si è detto, le leggi del moto, hanno forza conclusiva soltanto se si presuppone

29 2^e ed. Paris, 1757, pag. 3.

una certa rappresentazione concettuale della realtà. Già, per esempio, l'assioma più semplice che «due forze eguali applicate ad un punto danno una risultante secondo la bisettrice del loro angolo» costituirà una verità a priori soltanto per chi ammetta che le forze (o cause determinanti del moto) vengano adeguatamente rappresentate da vettori.

Questa critica colpisce ogni uso che voglia farsi del principio di ragion sufficiente per dedurne assiomi o verità universali a priori della scienza. Ma non toglie al suo valore euristico quale si lascia riconoscere più largamente negli sviluppi della scienza stessa.

12) *Causa aequat effectum.*

Se si tratta di fenomeni suscettibili di variare in più o in meno, si concepisce che ogni variazione della causa debba esser seguita da una corrispondente variazione dell'effetto, ed anzi che il rapporto fra le rispettive misure debba essere di proporzionalità o di eguaglianza. Questo presupposto s'incontra già nelle esposizioni sulla dinamica di Aristotele (De Caelo, III, 2) e nei dottori medioevali³⁰: assumendo che la forza sia causa della velocità impressa al mobile, si ritiene senz'altro che una forza doppia debba imprimere velocità doppia. Così

30 Cfr. P. Duhem, *Léonard de Vinci...* vol. III, pag. 58.

pure nei ragionamenti citati innanzi, di Galileo, Descartes, Leibniz, giuoca sempre la proporzionalità o eguaglianza degli effetti alle cause. Ma dall'affermarla in generale e dal trarne le conseguenze che essa comporta, i nostri filosofi sono condotti ad altre importanti scoperte.

Primo Descartes ha avuto l'idea grandiosa di cercare nel sistema dei moti dell'universo qualcosa che rimanga costante. «Dieu – dice nei Principia Philosophiae del 1644) – ne change jamais sa façon d'agir et conserve le monde aver la mesme action qu'il l'a créé... il faut qu'il conserve maintenant... le mouvement qu'il y a mis de lors, avec la propriété qu'il a donné à ce mouvement, de ne demeurer pas tousjours attaché aux mesmes parties de la matière et de passer des unes aux autres, selon leurs diverses rencontres»³¹.

Riferendosi ad un sistema cinetico, in cui i moti uniformi dei corpuscoli elementari sono deviati e modificati soltanto dai reciproci urti, Descartes ha concretato l'invariante cercato nella *somma delle quantità di moto*, senza tenere il debito conto della circostanza che queste sono definite come vettori, aventi direzione.

Venti anni più tardi Huygens, correggendo codesta veduta e approfondendo lo studio dell'urto dei corpi elastici, rilevava la conservazione della somma delle *forze vive* (ottenute moltiplicando la massa non più per la velocità ma per il suo quadrato). E Leibniz, riprendendo quindi l'idea di Descartes, imprendeva a emendare il suo

31 P. II, XLII. Cfr. «Oeuvres», vol. IX, pag. 87.

principio della conservazione della «forza», dichiarando che la stima di questa in base alla quantità di moto costituisce un errore, che deve esser corretto assumendo in quella vece la forza viva. Questa veduta si trova espressa in un articolo di Leibniz, inserito negli *Acta Eruditorum* di Lipsia (1686), col titolo «Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii...»³². L'oggetto della questione sembra a prima vista puramente convenzionale: la quantità di moto porge la misura della forza che produce una certa velocità agendo per un certo tempo, mentre la forza viva dà la misura della forza agente per un dato spazio percorso; e per un sistema isolato tanto la somma delle quantità di moto come quella delle forze vive resta costante. Tuttavia la polemica non si riduce affatto ad una vuota disputa di parole. Dietro a questa c'è un interesse scientifico d'ordine elevato: perchè la somma (algebrica o vettoriale) delle quantità di moto, quando si tenga conto dell'orientazione dei vettori, non è suscettibile di figurare come una provvista di qualcosa che si utilizzi nel lavoro; il suo valore per l'intero universo, o per un sistema isolato di corpi moventisi egualmente in tutte le direzioni, può ritenersi come nullo. All'opposto invece la somma delle forze vive è essenzialmente positiva, ed Huygens e Leibniz riconoscono che la costanza di essa è la condizione perchè riesca impossibile quella specie di creazione *ex nihilo* della forza meccanica che apparirebbe nel «moto perpetuo».

32 Cfr. *Mathematische Schriften*, ed. Gerhardt, 1860.

La scoperta dà occasione al Leibniz di formulare nettamente l'equivalenza delle cause agli effetti. Così nell'assioma I dell'«Essai de dynamique»: «La mesme quantité de la force se conserve, ou bien l'effect entier est égal à sa cause totale»³³.

«Ostendo aequationem latentem inter causam et effectum nulla arte violabilem esse»³⁴.

E concludeva il suo studio dicendo che la *vera realtà* non è il moto ma la forza, la quale costituisce qualcosa oltre la quantità di materia, la figura e il suo cambiamento di luogo, e perciò non è meraviglia se la natura o Dio hanno stabilito la legge di conservazione riferendosi (non al moto che è soltanto fenomenico), ma proprio a ciò che è reale.

Queste riflessioni toccheranno chiunque non sia indifferente al senso storico della scienza, se appena si ricordi che il principio delle forze vive (concepito da Leibniz per un meccanismo democritico-cartesiano) doveva estendersi quindi ai meccanismi newtoniani, retti da forze centrali, sommando alle forze vive la cosiddetta *energia potenziale*, e che di qui doveva scaturire, nel secolo decimonono, la scoperta dell'equivalenza meccanica del calore, e con essa il gran principio generale della *conservazione dell'energia*.

Mayer (1842), Joule, Colding e Helmholtz, sono, com'è noto, gli autori della scoperta, contenuta implicitamente

33 *Math. Schriften*, ed. Gerhardt.

34 *Math. Schriften*, ed. Gerhardt B. VI, pag. 201.

tamente nell'ipotesi meccanicistica, e che pure ha dovuto attendere tanto lungamente la sua ora. La maggior parte di essi si ispirano direttamente a codesta ipotesi o vi si riferiscono per spiegare il senso del risultato conseguito. Ma il primo scopritore, Roberto Mayer, medico e non matematico, non sapeva di meccanicismo; pure ei prende esplicitamente come punto di partenza della sua ricerca il principio: *causa aequat effectum*!³⁵. Ci sono voluti quasi due secoli per concretare l'idea (già affermata fin dai primi meccanicisti) che il calore sia movimento delle particelle del corpo, e per misurare dall'aumento della temperatura il moto comunicato a codeste particelle dalla percussione e dallo sfregamento di un altro corpo. Frattanto non si può leggere senza commozione le parole annunciatrici di Leibniz, in cui risponde a coloro che gli obiettano il perdersi della forza nell'urto di due corpo anelastici: «quanto perdono i corpi nella loro intrezza le parti lo ricevono essendo agitate interiormente dalla forza dell'urto. La perdita non è che apparente. Le forze non sono distrutte ma dissipate fra le parti più minute. Ciò non vuol dire perderle, ma fare come chi cambia la moneta grossa in spiccioli»³⁶.

Tuttavia il principio stesso da cui si parte «*causa aequat effectum*» resta vago ed oscuro. Quale significato può dargli un critico moderno?

35 Cfr. *Die Mechanik der Wärme*. Coll. Ostwald, pag. 3.

36 Opera ed. Erdmann, pag. 775, in Meyerson, 171.

Per poco che uno si accosti ad esaminarlo con mente scettica, ei sarà indotto a rilevare che la misura dei fenomeni, designati quali «cause» ed «effetti», è definita a meno di una funzione arbitraria, e perciò che il rapporto causale dovrà tradursi con un legame funzionale qualsiasi $y = f(x)$.

Così appunto lo spirito logico dei nostri tempi parla per bocca dei suoi più eccelsi rappresentanti. Per esempio di H. Poincarè, il quale aggiunge che, se – come accade d'ordinario – la funzione $f(x)$ è differenziabile, le piccole variazioni delle cause sono funzioni lineari delle piccole variazioni degli effetti: $dy = f'(x) \cdot dx$; nell'infinitesimo si può dire dunque che le variazioni degli effetti sono generalmente proporzionali alle cause che li producono.

Ma nella mente di Leibniz c'è qualcosa di più della logica: c'è l'intuizione, sia pure men chiara, di un'esigenza razionale, che già in parte si traduce col supposto di una dipendenza funzionale, ma che rivolge insomma lo sforzo scientifico verso la ricerca di qualcosa che sia invariante nelle trasformazioni fenomeniche, e che possiamo concepire quale oggetto reale della nostra scienza. Avremo da ritornare su questo punto per chiarire meglio il significato che assume tale esigenza pei filosofi della scienza contemporanei. Qui intanto rileviamo che Leibniz sapeva bene che si tratta di stimare cause ed effetti dandone una misura conveniente, e solo credeva a priori che possa darsene una *misura naturale*, per cui il rapporto causale si lasci tradurre con una perfetta egua-

glianza. Così appunto egli spiegava nel suo citato «Essai»: «pour expliquer les choses à priori il faudrait estimer la force par la quantité de l'effect prise d'une certaine manière qui a besoin d'un peu plus d'attention pour estre bien entendue».

13) *Principii di massimo e minimo.*

Un altro ordine di applicazioni delle vedute leibniziane sulla ragion sufficiente si riferisce alle leggi di natura che rispondono a problemi di massimo o di minimo. Qui ricordiamo anzitutto il *principio della minima azione*, che porta il nome di *Maupertuis* (1744), cui si deve almeno associare quello di Eulero che gli ha dato, in ogni caso, la giusta forma.

La *quantità d'azione* che il principio afferma minima in ogni processo dinamico, si valuta calcolando, per ciascun elemento del sistema, il prodotto della massa per lo spazio percorso o della forza viva per il tempo (e – secondo Eulero – prendendo la media di questi prodotti); il concetto di essa già si trova in Leibniz³⁷ sicchè tenendo conto di ciò che abbiamo rilevato innanzi, si deve dire in ogni caso, che Maupertius si muove nell'ordine delle idee leibniziane, anche se si ritenga apocrifo il frammento di lettera di Leibniz allo Hermann che il Kö-

37 *Math. Schriften*, P. II, Bd. II, pag. 345.

nig ha pubblicato nel 1751 per contestare al Maupertius e ad Eulero la priorità del principio stesso, dando luogo, com'è noto, ad una celebre polemica³⁸.

Il *principio di Maupertius-Eulero* rientra o equivale, sotto opportune condizioni, ad altri principii analoghi, quali sono; il *principio del minimo sforzo di Gauss*, il *principio di Hamilton* e il *principio della direttissima di Hertz*, che mettono in luce diversi aspetti delle condizioni di massimo e minimo realizzate nei processi della dinamica. Un semplice esempio basta a dare un'idea del significato di tali principii. Se si suppone che un punto materiale su cui non agiscono forze debba muoversi sopra una superficie, la traiettoria sarà una geodetica della superficie stessa, cioè linea più breve sopra di essa. Un siffatto principio suggerisce subito l'interpretazione teleologica: la via percorsa dal mobile è quella stessa ch'egli percorrerebbe per andare da una posizione ad un'altra col massimo risparmio della sua fatica. Ma come si può attribuire ad un piccolo frammento di materia una tale intelligenza di scelta?

Per Eulero – come in questioni analoghe per Leibniz – supplisce l'Autore di tutte le cose. La perfezione e la sapienza del Creatore porta che quanto avviene nel mondo si spieghi colle cause finali; perciò «*omnes naturae effectus sequuntur quandam maximi minimive le-*

38 Cfr. H. Helmholtz, *Zur Geschichte des Princips der kleinsten Action*, la «Wiss. Abhandlungen», III, pag. 249.

gem»³⁹ sebbene, in ogni caso concreto, non sia facile definire a priori questa proprietà partendo da principii metafisici.

Oggi questa maniera di giustificare le leggi della natura colle cause finali appare una deplorable confusione della scienza colla teologia; e d'altronde, per quel che concerne i principii variazionali sopra indicati, se ne porge la dimostrazione in base alle *equazioni del moto*, quali si stabiliscono (col principio dei lavori virtuali traverso al postulato di D'Alembert) nella dinamica analitica di Lagrange⁴⁰. Non pertanto l'apparenza teleologica di essi costituisce ancora un soggetto di riflessione; conviene almeno render conto della circostanza storica che, sia pure soltanto per riguardo alla scoperta dei primi fra i principii nominati, il criterio della finalità mostri di possedere un valore euristico nello sviluppo della scienza. Ma noi abbiamo già accennato alla spiegazione che i principii invocati esprimono una esigenza deterministica, in quanto il massimo e il minimo rispondono ad una determinazione univoca degli effetti per riguardo alle cause che li producono. Riferiamoci, per esempio, al moto di un punto su cui non agiscono forze, sopra una superficie. Allora è facile giustificare in quest'ordine di idee che il moto debba avvenire secondo una geodetica. Si tratta di riconoscere che deve esser soddisfatta, in

³⁹ *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes*, Losanna, 1744 (Add. II, pag. 309).

⁴⁰ Cfr. p. es. Levi-Civita e Amaldi, *Lezioni di Meccanica razionale*, P. II, vol. II, pag. 488-526 (Bologna, 1927).

rapporto alla superficie stessa o al suo paraboloido osculatore in un punto O , la proprietà differenziale caratteristica: piano osculatore normale alla superficie. Ora, se si suppone che O si muova secondo una direzione o , tangente alla nostra superficie, basta rendersi conto che, qualora il piano osculatore alla traiettoria percorsa non fosse il detto piano normale α , ma invece un piano x inclinato su α , non vi sarebbe ragione di preferire il piano x al suo simmetrico rispetto ad α , che si trova in condizioni perfettamente uguali, purchè si ammetta la reversibilità del moto, cioè che la traiettoria del nostro punto mobile si conservi quando s'inverta la direzione della tangente o ⁴¹.

I principii di massimo e minimo si giustificano dunque per ciò che esprimono in relazione all'esigenza del determinismo. Del resto, se si pensi che il Dio di Leibniz e di Eulero è infine l'ordine della Natura, non apparirà strano che il senso della perfezione divina, ovvero dell'unità del Tutto e dell'armonia e della bellezza delle leggi naturali, contenga un valido incitamento alla scoperta di riposte verità scientifiche, così come il senso estetico dei numeri e delle figure suole eccitare le menti elette a scoprire le più importanti verità matematiche.

41 Sulla questione generale dei principii teleologici della Dinamica cfr. anche E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 4^a ed., Lipsia, 1901, Cap. IV, 2.

14) *Il principio di ragione come criterio regolativo della costruzione scientifica.*

Abbiamo insistito su ciò che la pretesa deduzione di assiomi o leggi della natura dal principio di ragion sufficiente non ha forza dimostrativa, perchè si basa sul presupposto di una certa rappresentazione concettuale dei fenomeni; essa non vale dunque a stabilire codeste leggi, ma soltanto a riconoscere che sono contenute necessariamente in quella rappresentazione che abbiamo induttivamente conseguita. Il significato proprio del principio di ragion sufficiente si manifesterà dunque, in tutta la sua evidenza, in quei casi in cui la rappresentazione concettuale adottata abbia bisogno di un controllo, mercè un'interpretazione approfondita o un'eventuale estensione delle osservazioni e delle esperienze che l'hanno suggerita, e tanto più se l'anzidetta rappresentazione debba riconoscersi non adeguata alla realtà fenomenica e perciò venire opportunamente modificata. La ricerca della ragion sufficiente porgerà allora il criterio del controllo o della modifica, apparendo dunque, nella sua vera luce, non più come principio di scienza a priori, ma come criterio regolativo della costruzione scientifica.

A questo uso del principio leibniziano nella storia della scienza si riferiscono celebri esempi, che ci piace trarre specialmente da teorie scientifiche a noi più vicine.

Citeremo anzitutto il principio di simmetria di Curie, da lui invocato e adoperato con successo nello studio

della fisica dei cristalli: «Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits». «Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui leur ont donné naissance»⁴².

In secondo luogo ricorderemo la stereochimica di Van't Hoff⁴³, dove il modello piano della molecola costituita da un atomo di carbonio saturo con quattro atomi o gruppi atomici diversi, è stato sostituito col modello solido, ponendo dunque i quattro atomi nei vertici di un tetraedro anzichè di un quadrato. Infatti lo schema del quadrato farebbe supporre l'esistenza di tre composti diversi del detto tipo, mentre non ve ne sono che due, in corrispondenza ai due versi possibili del tetraedro.

Si può aggiungere che la grande idea di Maxwell, dell'identità delle onde luminose e delle onde elettromagnetiche, gli è stata suggerita dal bisogno di dar ragione della coincidenza di due numeri (esprimenti la velocità di trasmissione).

E similmente anche la teoria generale della relatività di Einstein, risponde nella mente del suo autore al pro-

42 «Oeuvres» de Pierre Curie, publication de la Société française de Physique. Paris, 1908. Préface de Mad. Curie. Cfr. F. Enriques, *Il principio di ragion sufficiente nella costruzione scientifica*, Scientia, 1908, in «Scienza e razionalismo», Bologna, 1912 (Cap. 3).

43 Cfr. Enriques, l. c.

posito di dar ragione della coincidenza della massa d'inerzia e della massa attraente dei corpi.

Infine vogliamo indicare ancora un ordine di casi in cui i fisici matematici adoperano consapevolmente il principio di ragion sufficiente come criterio di controllo delle loro teorie. Quando sono riusciti a rappresentare un certo fenomeno, per esempio la propagazione del calore in un conduttore, con un sistema di equazioni differenziali, essi richiedono di dimostrare che gli integrali di questo sistema, esistono e restano univocamente determinati dalle condizioni ai limiti. Questi teoremi di esistenza e di univocità traducono semplicemente l'univocità del processo fenomenico nelle condizioni di esso che si sono assunte come determinanti. E così valgono a dimostrare che la teoria che si è costruita è almeno plausibile.

15) *Realismo dialettico.*

Che il principio di ragion sufficiente esprima per Leibniz, ad un tempo una legge universale della natura ed una condizione d'intelligibilità del reale, o – come oggi diciamo – un criterio regolativo della costruzione scientifica; che insomma egli sembri identificare il suo valore obiettivo col subiettivo, non dipende affatto da una confusione d'idee, ma dal presupposto di un'armo-

nia prestabilita fra la mente dell'uomo e la realtà universale di cui fa parte.

Questa è una idea antica che risale ai Greci: forse appunto in questo senso Democrito diceva che «l'uomo è un microcosmo»⁴⁴. In ogni caso Platone traduceva col mito delle idee innate il convincimento di possedere nelle verità matematiche qualcosa che possiamo trarre dal nostro proprio fondo, senza ricorrere all'esperienza. Gli stoici hanno serbato su questo punto la tradizione platonica, postulando le *nozioni naturali* o *nozioni comuni* innate. La tradizione di queste scuole viene a sua volta ripresa dai pensatori razionalisti dell'età moderna: da Descartes, da Leibniz e in genere dai filosofi matematici, ai quali le conoscenze matematiche, in vista della loro evidenza o necessità intuitiva e del loro significato rigoroso, appaiono di una specie diversa e superiore in confronto alle conoscenze empiriche.

Questo presupposto, che è caratteristico del razionalismo metafisico, dovrà essere rovesciato dalla critica empiristica; frattanto però esso conduce ad ammettere un perfetto parallelismo fra l'ordine delle idee nella mente e l'ordine della natura. Il rapporto di successione necessaria che si crede esistere nella realtà fisica fra gli oggetti o i fenomeni ritenuti cause ed effetti, si rispecchia nel rapporto di dipendenza logica per cui l'idea dell'effetto si deduce da quella della causa. Questo *realismo dialettico* trova la sua massima espressione nel sistema meta-

44 Fr. 34.

fisico di un grande filosofo. contemporaneo di Leibniz, cioè di B. Spinoza. Il quale, nella prop. VII della seconda parte dell'*Ethica*, lo formula nettamente enunciando che «Ordo et connexio idearum idem est ac ordo et connexio rerum».

Nelle dimostrazioni di due proposizioni successive⁴⁵ la stessa formula viene richiamata sostituendo alla «connexio rerum» la «connexio causarum». E del resto il realismo dialettico appare già dagli assiomi III e IV della prima Parte (di cui il IV viene richiamato appunto per dimostrare la detta prop. VII della P. II): «Ex data causa determinata necessario sequitur effectus, et contra, si nulla detur determinata causa, impossibile est ut effectus sequatur». «Effectus cognitio a cognitione causae dependet, et eandem involvit».

Ai quali assiomi fa riscontro la def. III: «Per substantiam intelligo id, quod in se est, et per se concipitur: hoc est id, cuius conceptus non indiget conceptu alterius rei, a quo formari debeat».

L'identificazione dell'«in se est» e del «per se concipitur» rispecchia il parallelismo fra l'ordine della mente e l'ordine della natura, che è nel pensiero dell'A.

45 Prop. 19 e 20.

16) *L'empirismo psicologico di Locke.*

Il razionalismo metafisico, ammettendo un'armonia prestabilita fra l'ordine delle idee e l'ordine della realtà, dà origine ad un problema della conoscenza, che già virtualmente si pone allo spirito appena siasi riconosciuto il valore delle Matematiche per riguardo alla ricerca naturalistica. Per quale meravigliosa disposizione la mente dell'uomo si troverebbe in possesso di una scienza innata? e come avviene d'altra parte che tante volte egli abbia alienato il suo patrimonio di verità, dono gratuito d'Iddio, perdendosi nell'errore?

La filosofia inglese, da Locke a Berkeley e a Hume, si volge a chiarire tale problema, con un metodo e un indirizzo ben segnato. E sebbene riprenda alcuni motivi del pensiero antico (quali furono sviluppati specialmente dagli scettici) il suo sviluppo appare essenzialmente determinato come critica del razionalismo matematico di cui si è discusso innanzi, specialmente di quello di Descartes, a cui consapevolmente si contrappone.

Se in qualsiasi modo, ci vien fatto di scorgere una certa corrispondenza fra le cose e le idee che troviamo nella nostra mente per rappresentarle, la spiegazione più semplice che possiamo darne è di ritenere le idee stesse formate dalle cose, e d'illustrarne la genesi studiando il processo mentale della loro formazione.

Con questo scopo preciso, e col metodo psicologico che è suggerito dalla posizione stessa del problema,

John Locke ci porge una critica dell'intelletto umano nella sua celebre opera «An Essay concernig Human Understanding» (1690). Nella quale confuta esplicitamente la tesi delle *idee innate*.

Il termine «Idea» designa genericamente per Locke qualsiasi oggetto del pensiero, e l'A. – dopo aver dedicato il libro I all'anzidetta confutazione – imprende a mostrare nel II come tutte le idee vengano acquisite mediante la sensazione e la riflessione. Egli ammette più precisamente (coi razionalisti suoi avversarii) che vi sieno delle *idee semplici* (II, 2) che appaiono distinte nella sensazione e nella riflessione e non ulteriormente distinguibili (per esempio il freddo, la durezza, la bianchezza, ecc.): le quali dall'intelletto sono ricevute come dati in gran parte passivamente; mentre per contro le idee complesse sono composte. dallo spirito mediante le idee semplici (II, 12), col processo fondamentale dell'associazione psicologica.

Le idee semplici che vengono dalla sensazione sono ritenute «produzioni naturali e regolari delle cose, rappresentanti le cose stesse sotto le apparenze che esse sono capaci di produrre in noi» (IV, 4, 4). Tuttavia Locke concede una estensione di questo processo d'acquisto, seconda i criterii espressi da Newton nelle *Regulae Philosophandi*; invero egli ammette la possibilità di estendere col pensiero a ciò che non è percepibile, quel che ci vien porto dalla percezione in maniera costante. In questo senso ei riprende la distinzione fra due specie di qualità della materia (di Democrito, di Galileo, di De-

scartes e di Newton) riconoscendo come *qualità primarie* (II, 8, § 9) quelle che sono inseparabili dai corpi, in quanto si trovano sempre dai sensi in ogni parte di materia abbastanza grossa, e si ritengono dallo spirito come appartenenti anche ad ogni più piccola parte che sfugga alla sensazione: tali sono per Locke (come per Galileo e per Newton) non solo le qualità cartesiane, *estensione* e *figura*, sì anche la *solidità* o *impenetrabilità* e la *mobilità*. E queste qualità primarie o originali producono in noi delle idee semplici, che assomigliano alle stesse qualità dei corpi (§ 15). Per contro le *qualità secondarie* (odore, colore, ecc.) non sono nei corpi che la potenza di produrre diverse sensazioni per mezzo delle loro qualità primarie (§ 10), eccitando in noi delle idee mediante l'azione di particelle insensibili sugli organi di senso (§ 13). Il libro III svolge una profonda critica delle idee generali, nel senso del nominalismo o del terminismo: il termine generale non è che l'astratto di un gruppo di idee che la mente umana ha associato, e così le «specie» sono costruzioni dell'intelletto umano, per quanto fondate sopra una reale somiglianza delle cose individuali (III, 2). La tendenza critica che qui si esprime avrebbe dovuto toccare anche al fantasma delle «idee semplici», che appartengono invero ad una visione razionalistica affatto opposta; ma è un fatto storico degno di rilievo che questa nozione manifesti tanta resistenza da ritrovarsi ancor viva e vitale presso molti pensatori empiristi che compaiono dopo Locke nel cielo della speculazione.

17) *La definizione di Berkeley: esse est percipi.*

Coll'ammettere le qualità primarie della materia, l'empirista Locke aveva rispettato il presupposto dei razionalisti matematici, che sia dato al pensiero di cogliere nella figura e nel movimento alcunchè delle cose in sè stesse, di là delle sensazioni, e così di toccare nella scienza a quell'ideale di verità che Galileo aveva espresso pittorescamente dicendo: «la verità di che ci danno cognizione le dimostrazioni matematiche ell'è la stessa che conosce la sapienza divina»⁴⁶. La logica dell'empirismo e l'avversione del credente verso un meccanicismo in cui vedeva una minaccia per la religione, conducono Giorgio Berkeley a confutare codesta pretesa. Anzitutto l'analisi delle idee che traggono origine dalla vista⁴⁷ lo persuade che la distanza degli oggetti, o le proprietà di figura di essi, non costituiscono il contenuto proprio di tale sensazione; che queste non sono affatto percepite in sè dalla vista nè apprese o giudicate con linee od angoli o con qualcosa che abbia un nesso necessario con esse, ma che sono suggerite al nostro pensiero dall'associazione di certe sensazioni o idee che accompagnano la visione stessa.

Ora, se nelle idee che si riferiscono alle qualità primarie della materia non c'è nulla di più reale che in quelle relative alle qualità secondarie, che cosa si dovrà dire

46 «Opere», VIII, pag. 129.

47 *An Essay towards a New Theory of Vision*, 1709.

dell'esistenza stessa delle cose, fuori del soggetto che le percepisce?

Berkeley⁴⁸ invita i filosofi a por mente a quel che s'intende colla parola «esiste», quando si applica alle cose sensibili. «Io dico che esiste la tavola su cui scrivo, cioè la vedo e la sento; e, se io fossi fuori del mio studio direi che esiste, intendendo con ciò che se io fossi nel mio studio la potrei percepire o che qualche altro spirito attualmente la percepisce... Questo è tutto ciò che posso intendere con queste e somiglianti espressioni. Ciò che è stato detto dell'esistenza assoluta di cose non pensanti, senza alcuna relazione col loro esser percepite, mi sembra perfettamente inintelligibile. Il loro *esse* è *percipi...*».

È difficile aggiungere alla chiarezza di questa esposizione. L'idea astratta dell'esistenza o della realtà fisica deve essere definita spiegando ciò che intendiamo nei singoli casi quando diciamo che qualcosa esiste. Passare dal fenomeno ad un oggetto che esista di per sè, come causa di esso, è fare un uso trascendente del principio di causa, ponendo un rapporto causale affatto inintelligibile fra cose eterogenee (l. c. n. 79). E ne resulterebbe, in ogni caso, la conclusione scettica essere impossibile di riconoscere «se le cose percepite sono conformi a quelle non percepite e esistenti fuori della mente» (l. c. n. 86). È ben vero che il senso comune avverte, che l'afferma-

48 *Treatise on the principles of human Knowledge*, 1710 (n. 3).

zione di un oggetto è strettamente connessa colla causalità, ma ciò significa soltanto che l'oggetto stesso implica un nesso di percezioni o di volizioni e sensazioni che ne dipendono, come avremo luogo di chiarire meglio nel seguito. Non si esce, ad ogni modo, dal mondo dei fenomeni, che sono dati al soggetto percipiente.

18) *La critica della causalità di David Hume.*

Berkeley ha toccato solo per incidenza del rapporto di causa. Hume ne ha fatto oggetto di una critica approfondita, che è il maggior apporto da lui recato alla filosofia. Il significato di questa critica s'intende bene riferendosi alla tesi razionalistica del realismo dialettico, innanzi illustrata. Hume empirista imprende a dimostrare che nel rapporto fra causa ed effetto non c'è una connessione *necessaria*, avente comunque un senso fisico obiettivo; invero se causa ed effetto sono dati come due fenomeni, non c'è nulla nella percezione dell'uno che debba portare necessariamente l'altro; dall'idea dell'uno non si deduce logicamente l'idea dell'altro; e soltanto il costante ripetersi di una successione può generare nella nostra mente, per abitudine, una successione d'idee, per cui l'idea della causa richiami quella dell'effetto, e la sensazione di quella produca l'attesa della sensazione di questo.

Questa tesi è ampiamente svolta dall'autore nel «Treatise of human Nature» (1739) e, più tardi viene ripresa negli «Essais» del 1748 e particolarmente nella «Inquiry concerning human Understanding».

In queste opere giova cercare quale idea l'autore si formi della causa. Appare tosto che egli considera l'aspetto fenomenico di questo rapporto, come si conviene ad un empirista che ha fatto propria la critica della realtà di Berkeley e perciò ripudia il meccanicismo. Tuttavia la prima definizione che si trova nel «Trattato» (nella sez. XIV «sull'idea di connessione») ritiene dal concetto razionalistico la «contiguità» della causa e dell'effetto, che invero si basa sull'impossibilità di concepire un'azione a distanza, senza intermediari nello spazio o nel tempo. Infatti l'A. definisce la causa:

«un oggetto precedente e contiguo ad un altro, e tale che tutti gli oggetti somiglianti al primo sono posti in simili rapporti di precedenza e contiguità cogli oggetti che somigliano al secondo». Ovvero:

«una causa è un oggetto precedente e contiguo ad un altro, e così unito con questo, che l'idea dell'uno determina la mente a formare l'idea dell'altro, e l'impressione dell'uno a formarsi dell'altro un'idea più vivace».

Invece nel «Saggio» (sez. VII) sparisce l'idea della contiguità fra causa ed effetto, anzi nell'edizione del 1753-54 la definizione precedente del Trattato viene riportata colle stesse parole, sopprimendo solo l'accento a

codesta condizione⁴⁹. Ciò sembra indicare che sia maturato nella mente dello Hume il concetto positivistico della causa che viene suggerito dalla dottrina di Newton, ove – abbandonato il senso delle «vere cause» – si assumano addirittura come cause ed effetti i fenomeni che si trovano in un rapporto di successione invariabile.

Tuttavia Hume non mette in dubbio ciò che costituisce il contenuto della nostra credenza ad un ordine causale, ossia (per dirla col Meyerson) il *principio di legalità*, che con esso si afferma. Egli riprende anzi i criteri galileiani, postulando nelle «Regole per giudicare delle cause e degli effetti»⁵⁰ che «la medesima causa produce sempre il medesimo effetto, e il medesimo effetto proviene sempre dalla medesima causa»; e che «quando ci sono differenti oggetti che producono lo stesso effetto, lo si deve a qualche qualità comune». Ancora: «quando un oggetto aumenta o diminuisce con l'aumentare o diminuire della sua causa, dev'essere considerato come un effetto complesso, derivante dall'unione di effetti differenti, che provengono da parti differenti della causa».

Questa specie di atomismo causale, intendo la concezione di cause ed effetti semplici, che sono in rapporto di successione univoca e lineare, si ritroverà anche nel filosofo rappresentativo dell'empirismo inglese del secolo XIX. J. Stuart Mill ci offre una decomposizione ana-

49 «Causa è un oggetto, seguito da un altro, e tale che tutti gli oggetti simili al primo sieno seguiti da oggetti simili al secondo».

50 *Treatise*, sez. XV.

loga dei fenomeni, schematizzati con simboli A B C D ecc., nei suoi noti canoni del ragionamento induttivo.

E tuttavia, se pur si conceda il postulato dell'*uniformità della natura*, come risultato di un'induzione generalissima a partire dalle osservazioni ed esperienze più familiari, resta più difficile, per un empirista, di giustificare la *semplicità della natura*: veduta che implica un'astrazione affatto contraria allo spirito del nominalismo empirico, poichè in verità viene suggerita da un inconsapevole realismo, facendo capo insomma al sistema delle Idee platoniche, che si svolge per definizioni e deduzioni successive a partire dalle Idee di minor comprensione e di massima estensione.

Pertanto sembra lecito concludere che l'empirismo non è stato portato collo Hume, è neppure nel secolo successivo collo Stuart Mill, alle sue logiche conseguenze, che vedremo svilupparsi in senso scettico. Nei pensatori nominati la tesi volge piuttosto verso quello che forma lo scopo proprio della filosofia positiva: consolidare la scienza delimitandone il contenuto obiettivo.

19) *Il sensualismo di Condillac.*

Il tentativo di Locke di spiegare la conoscenza umana deducendo la genesi psicologica delle idee dalle sensazioni e dalla loro associazione, non si estendeva alle at-

tività della mente. Il potere di conoscere e di ragionare rimane per lui qualcosa d'innato. Ma è chiaro che uno sviluppo più profondo del motivo empirico suscita naturalmente il problema se anche queste facoltà dello spirito possano spiegarsi o generarsi dalle sensazioni. Il sensualismo dell'abate di Condillac costituisce il maggior sforzo per sciogliere in questo senso il problema. Nella tradizione francese, prima di Condillac, c'erano dei precedenti del suo pensiero: la filosofia empirica di Gassendi, ripresa da Epicuro e da Lucrezio, ed anche la tesi di Descartes che – pur dotando l'uomo di un'anima spirituale – faceva degli animali dei semplici automi e invitava così a ricercare anche per l'uomo una spiegazione della sua intelligenza dedotta da cause meccaniche o almeno da influssi esteriori. Queste tendenze si vedono già in atto negli inizi del materialismo francese, per esempio nelle opere⁵¹ di J. O. Lamettrie erede della tradizione di Descartes e di Gassendi, ma soprattutto in un filosofo più immediatamente influenzato dalla critica di Locke, e poi di Berkeley, qual'è l'abate Bonnot de Condillac⁵². Da lui si svolge un sensualismo, che – a partire dalla celebre ipotesi di una statua originariamente priva di sensi, cui i sensi si aggiungano successivamente, ad uno ad uno – tende a spiegare l'acquisto progressivo delle varie facoltà dell'intelligenza, e così a ridurre questa –

51 *Histoire naturelle de l'âme*, 1745. *L'homme machine*. 1748.

52 *Essai sur l'origine de la connaissance humaine*, 1746. *Traité des sensations*, 1754.

per quanto è possibile – ad una immagine o copia della realtà esteriore.

Questo sensualismo, e il materialismo contemporaneo che si trova con esso in uno stretto rapporto, hanno esercitato la più forte influenza sul pensiero rinnovatore del secolo XVIII, in ispecie nel senso dell'emancipazione dalle credenze religiose e nella formazione dei nuovi ideali dell'umanità, che sono stati proclamati alla fine del secolo stesso dalla Rivoluzione francese. Qui appaiono i motivi generali che dovevano suscitare una reazione ed una critica approfondita dell'anzidetta filosofia, quale si esprime storicamente nell'opera di Kant.

20) *La critica di Kant.*

La teoria della conoscenza, che si esprime nell'empirismo e nel sensualismo e si associa storicamente al concetto dell'uomo macchina, risponde alla veduta generale di una spiegazione epigenetica della vita, secondo la quale l'attività degli esseri viventi, ed anche la forma e la struttura dei loro organi, si ritengono come risultati dell'ambiente in cui vivono ed a cui tendono progressivamente ad adattarsi. In quest'ordine di idee Lamark, verso la fine del secolo XVIII, avendo notato l'effetto dell'uso e del non uso sugli organi degli animali, sarà indotto a concepire in generale una evoluzione delle spe-

cie governata appunto dall'adattamento all'ambiente, secondo la formula «La funzione crea l'organo».

Ma la veduta epigenetica della vita non è nemmeno logicamente congiunta al concetto dell'uomo-macchina; ad essa si può contrapporre un *preformismo* che tende a limitare le influenze esterne esercitanti sul vivente, e a far valere le attività congenite, trasmesse per eredità ed attinenti alla struttura originaria: così Darwin e Weismann faranno nella teoria della evoluzione, spiegando l'adattarsi della specie alle condizioni della vita esterna col principio della selezione naturale.

Tuttavia in linea storica la reazione all'empirismo ed al sensualismo sorge dai motivi che contrastano il materialismo, colla teoria della conoscenza di Leibniz e specialmente di Kant. La critica delle idee innate, svolta da Locke, ha dato luogo subito ad una risposta di Leibniz, che rimase però lungo tempo inedita, a cagione della morte del filosofo criticato, ed è apparsa oltre mezzo secolo più tardi sotto il titolo di «Nuovi saggi sull'intelletto umano». Leibniz si avvia qui sulla strada che verrà percorsa da Kant, sostenendo che nella mente umana si trovano non già idee innate, ma disposizioni ed attività congenite; al «nihil inest intellectui, quod prius non fuerit in sensu» degli scolastici, egli aggiunge «nisi intellectus ipse».

Emanuele Kant, in seguito ad una lunga maturazione di pensiero, dopo che Hume lo risvegliò, come egli dice, dal sonno dogmatico, è riuscito a costruire la dottrina

gnoseologica che si trova espressa nella «Critica della ragion pura» (1781-1787).

Teniamo presenti i termini del problema. C'è, o pare che ci sia, nella mente, qualche conoscenza che precede ciò che le viene dai sensi o che va al di là dei dati sensibili, inducendoci a concepire principii universali e necessari. Si è supposto dapprima che siffatte conoscenze a priori tengano ad *idee innate* che la mente stessa porterebbe con sé come suo patrimonio originario; ma il fatto che esse rispondano alla realtà obiettiva, il valore dell'istrumento matematico nella fisica, riesce affatto inintelligibile se non si ricorra ad una disposizione della Provvidenza. Si affaccia quindi l'ipotesi che l'accordo fra soggetto ed oggetto dipenda da ciò che anche le idee apparentemente innate sieno in verità acquisite mediante le sensazioni e le loro associazioni, e che in ultima analisi il soggetto stesso sia un riflesso del mondo esterno, il pensiero modellandosi sulle cose che intende rappresentare.

Ma si può affacciare anche l'ipotesi opposta, cioè che le cose, in quanto sono conosciute dalla mente, cioè le rappresentazioni loro, si modellino in qualche modo, sopra il soggetto. Invero gli oggetti del nostro pensiero non sono affatto copie di una realtà in sé affatto inintelligibile, bensì prodotti dell'attività pensante, che debbono venire condizionati da questa. Se pure nella nostra conoscenza c'è qualcosa di dato – i dati delle sensazioni – il pensiero fa di questi una creazione propria in cui

non può a meno di rivelarsi alcunchè delle sue facoltà originarie.

La rivoluzione portata da Kant con questa idea critica (per cui si fan girare gli oggetti intorno al soggetto anzichè i soggetti intorno all'oggetto) viene paragonata dall'autore stesso alla rivoluzione copernicana. E come questa deve sollevare, a prima vista, alcune difficoltà.

Il naturalista, che mira a cogliere colla sua scienza la realtà obiettiva, non riesce a comprendere facilmente il nuovo ordine di idee. Per aiutarlo a ciò non esitiamo a ricorrere ad una spiegazione poco ortodossa invitandolo a figurarsi la scienza che può capire nel cervello di un animale. Egli converrà facilmente che, per esempio, la scienza del cavallo deve ritrarre qualcosa dell'intelligenza cavallina e similmente si dica del cane e così via: soltanto un certo numero di conoscenze potranno entrare nella mente del nostro animale, e in genere verranno comprese o conosciute da lui soltanto quelle cose che sono suscettibili di rispondere alla rappresentazione mentale cavallina o canina; anzi ciò che tiene specificamente alla forma dell'intelligenza loro, dovrà apparire essenzialmente obiettivo a codeste famiglie di animali. Così è lecito anche ammettere che nella infinita realtà delle cose, possano cogliersi dalla nostra mente, come oggetti della conoscenza umana, solo quegli aspetti che, in qualche modo, siano ben rappresentati dalle idee che siamo capaci di formarne, traverso il processo psicologico di elaborazione dei dati sensibili. Diciamo pure che la nostra scienza è acquisita dall'esperienza; ciò non si-

gnifica punto che essa consista soltanto nell'accogliere passivamente i dati delle sensazioni; all'opposto sperimentare significa interpretare certe sensazioni connettendole fra loro con l'attività del pensiero.

I principii che Kant enuncia a priori come presupposto di ogni esperienza possibile, sono da lui espressi nelle «analogie dell'esperienza»:

a) In ogni cambiamento dei fenomeni la sostanza permane e la sua quantità nella natura non aumenta nè diminuisce.

b) Tutti i cambiamenti avvengono secondo la legge del nesso di causa ed effetto.

c) Tutte le sostanze, in quanto possano essere simultaneamente percepite nello spazio, sono tra loro in una azione reciproca universale.

L'Autore spiega che l'idea stessa di una realtà obiettiva risponde al nesso che la mente pone tra i fenomeni: «Se io ponessi l'antecedente e l'effetto non ne derivasse necessariamente, dovrei ritenere che la mia percezione altro non fosse che un gioco soggettivo delle mie immagini, e se io vi annettessi qualche cosa di oggettivo, dovrei chiamarla un puro sogno; dunque il rapporto dei fenomeni (come percezioni possibili) secondo il quale una cosa che segue è, quanto all'esistenza, determinata nel tempo necessariamente e secondo una regola da qualche cosa che precede, e quindi il rapporto di causa ed effetto, è la condizione del valore oggettivo dei nostri giudizi empirici, relativamente alla serie delle percezioni e però della loro verità empirica, e insomma dell'esperienza».

21) *Critica della dottrina Kantiana: Helmholtz.*

Il significato della tesi kantiana non è molto chiaro. Si può scorgere in essa una anticipazione della critica gno-seologica contemporanea: l'oggetto è per noi definito come un rapporto invariante fra diverse percezioni possibili; per esempio si riconosce l'esistenza obiettiva di un tavolo perchè guardando in un dato modo proviamo immancabilmente certe sensazioni visive, muovendo le mani riusciamo a toccarlo e a provare certe sensazioni di resistenza. Ma affermare che la nostra credenza ad un oggetto implichi un nesso necessario fra certe sensazioni, non significa ancora che la credenza sia giusta, cioè che l'oggetto abbia nel senso più rigoroso reale esistenza. Che dire se le aspettative fondate sopra tale credenza dovessero venir deluse?

Kant, sembra escludere un dubbio di questo genere risolvendo l'oggetto in una pura creazione del soggetto universale, che è lo spirito umano: dove si può vedere il principio dell'idealismo assoluto, sviluppato nella filosofia successiva. Tuttavia Kant stesso rifiuta le conseguenze idealistiche della sua dottrina, che, come è noto vengono da lui confutate in una speciale aggiunta alla seconda edizione della «Critica». Allora come potrà egli giustificare veramente le conoscenze a priori fondate sulla natura dello spirito? Si può comprendere la sua veduta richiamando la giustificazione che egli dà del

«principio supremo di tutti i giudizi sintetici» nella Sezione II del Cap. II dell'«Analitica dei principii».

«La possibilità dell'esperienza, egli dice, è ciò che conferisce realtà oggettiva a tutte le nostre conoscenze a priori... L'esperienza ha dunque come fondamento... le regole universali dell'unità nella sintesi dei fenomeni, regole la cui realtà oggettiva può essere provata sempre nell'esperienza come necessarie condizioni di essa, anzi della sua possibilità».

Pare che si debba intendere: la forma della conoscenza razionale dipende non dalle singole percezioni, ma dal nesso che tra di esse pone il pensiero, ovvero dei criteri secondo cui esso interpreta l'esperienza, sicchè sorge il dilemma: o i giudizi a priori che esprimono le condizioni di possibilità dell'esperienza trovansi incondizionatamente verificati, ovvero la scienza stessa riesce impossibile. Ma poichè c'è di fatto una scienza (la geometria di Euclide e la dinamica di Galilei-Newton) si deve sciogliere il dilemma, dichiarando senz'altro che questa scienza e quindi l'esperienza è possibile e concludere quindi alla validità dei principii che ne costituiscono il presupposto. Se l'interpretazione che abbiamo data è conforme al vero pensiero di Kant, dobbiamo pure rilevare ciò che in essa è manchevole⁵³.

Il dilemma kantiano ci invita a decidere fra una scienza assolutamente rigorosa e una non scienza; laddove

53 Una critica più larga delle dottrine di Kant in rapporto alla filosofia della scienza, è data da F. Enriques, *La théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*, Paris, Hermann.

nel fatto non si ha alcun diritto di ammettere che una teoria scientifica, sia pure la geometria di Euclide o la dinamica di Newton, possenga una verità rigorosa. Se ad esse compete soltanto un valore approssimato, è chiaro che la possibilità di una conoscenza di questo genere non autorizza affatto a giustificare i principii che sembrano costituirne il fondamento necessario.

Se si ammette che questi principii valgano per ciò che sia pensato rigorosamente come obiettivo, sorge la domanda: dove troveremo noi un oggetto nel flusso della realtà fenomenica?

Kant, facendo allusione al «Demonatte» di Luciano, esemplifica le sue vedute dicendo: «Un filosofo fu interrogato: Quanto pesa il fumo? Egli risponde: Togli dal peso del legno bruciato il peso della cenere che rimane ed avrai il peso del fumo». Egli presupponeva dunque come incontestabile che neanche nel fuoco la materia (sostanza) si distrugge, ma solo la sua forma subisce un cambiamento.

Qui parrebbe di vedere giustificato a priori quel principio della costanza del peso nelle reazioni chimiche, che ha preso nome dal Lavoisier. Ma la giustificazione non è valida: con quale diritto si assume che il peso di un corpo sia un carattere di ciò che pensiamo costituirne la sostanza?

In conclusione la critica di Kant ci suggerisce di vedere nel principio di causalità e più in generale nel principio di connessione necessaria dei criterii regolativi, che una scienza ideale dovrebbe soddisfare e che perciò

assumono un significato nel progresso storico della costruzione scientifica. Questo è appunto il senso che alla tesi critica Kantiana darà Hermann Helmholtz nel suo celebre discorso «Die Thatsachen in der Wahrnehmung» del 1878⁵⁴.

«Ogni ragionamento induttivo – dichiara Helmholtz⁵⁵ – si basa sulla fiducia che un comportamento legale finora osservato si verificherà ugualmente in tutti i casi che cadranno nel seguito sotto l'osservazione. C'è qui una fede nella legalità dell'accadere. Ma la legalità è condizione della concepibilità. Se ammettiamo che il concepire (la realtà) sia per completarsi, scoprendo al di sotto delle variazioni osservabili un ultimo invariabile che possa essere assunto come causa di esse, allora noi chiamiamo principio di causalità il principio regolativo del nostro pensiero che qui è messo in opera. Possiamo dire che esso esprime la fede nella completa concepibilità del mondo».

«Il principio di causa è realmente un dato a priori... una dimostrazione di esso coll'esperienza non è possibile, perchè già i primi passi dell'esperienza non sono possibili... senza applicare il ragionamento induttivo e quindi il principio stesso di causa... Qui c'è soltanto un precetto: Abbi fede e adoperalo!»⁵⁶.

54 In «Vortraege und Reden», 4^a ed., Braunschweig, 1896, vol. I, pag. 213.

55 Op. cit., pag. 243.

56 Op. cit., pag. 244.

Il principio di causalità vale dunque come regola metodologica atta a condurre ad una sempre più comprensiva e precisa formulazione di leggi che stringano la realtà. All'incontro esso non vale a giustificare la pretesa di avere comunque raggiunto una rigorosa perfezione in alcuna teoria particolare che sia effettivamente costruita. Il tentativo di una costruzione scientifica a priori fatta da Kant stesso nei «*Metaphysische Anfangsgrunde der Naturwissenschaft*»⁵⁷ (1785) porge esempio delle infelici conseguenze cui può condurre la peggiore interpretazione delle sue dottrine.

Kant d'altra parte mette bene in luce un punto che viene a convalidare le vedute sopra espresse; poichè nella terza «*Analogia*» sopra citata ammette un rapporto necessario di tutte le cose, cioè un principio di solidarietà dell'Universo. È facile comprendere che tale principio è già implicito nella teoria della gravitazione newtoniana, di cui costituisce in qualche modo l'estensione filosofica. Ma è interessante notare che una riflessione approfondita sul suo vero senso, viene a contrastare il concetto della linearità delle serie causali, che abbiám visto ugualmente affermato da Newton come da Galileo. Se tutto è connesso con tutto, ogni cambiamento o fenomeno, riguardato in concreto, dovrà dipendere dallo stato dell'intero Universo e quindi dal concorso di infinite

57 Trad. fr. di Andler et Chavannes: *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, 1891 e trad. it. di F. Tocco.

cause, che solo astrattamente potranno separarsi le une dalle altre.

Questo motivo verrà sviluppato in rapporto ad una visione vitalistica della Natura dalla filosofia romantica, che segue a Kant agli inizi del secolo XIX.

22) *Determinismo e libertà del volere.*

La concezione kantiana del *determinismo* strettamente *fenomenico*, che non è lecito di estendere alle cose in sè, conduce Kant a conciliare l'esigenza scientifica con quella dell'attività pratica, postulando la libertà del volere: una *libertà noumenica*, che rivela tutto il suo valore nel regno dei fini e della morale. Qui si può scorgere l'intuizione profonda che il determinismo scientifico non contraddice in alcun modo al sentimento che abbiamo della nostra libertà del volere; sebbene, a dire il vero, la spiegazione di questa compatibilità non possa dirsi chiara.

In effetto c'è una distinzione radicale fra i due atteggiamenti dello spirito: l'atteggiamento scientifico di chi cerca una rappresentazione contemplativa della realtà e l'atteggiamento attivo di chi opera nella vita. Certo l'attore per valutare i motivi della sua azione terrà conto delle previsioni che gli indicano le conseguenze del fare e del non fare; ma la previsione non può estendersi al

soggetto stesso, che così verrebbe preso per oggetto. L'impossibilità di sovrapporre in tal guisa l'atteggiamento rappresentativo e l'atteggiamento attivo dello spirito, in altri termini l'esigenza che il soggetto contemplante stia sempre fuori della serie delle sue rappresentazioni, può essere illustrata anche in altre maniere. E già, come abbiamo accennato, si palesa ai filosofi sotto l'aspetto logico nella antica scuola di Megara. In particolare giova richiamare qui il noto sofisma del Cretese.

Se ci raffiguriamo l'insieme delle proposizioni e dei giudizi, che abbiamo espresso comunque in una qualche sfera dello scibile, di ciascuna proposizione possiamo ammettere a priori che sia o vera o falsa; ma il giudizio di verità o di falsità è un giudizio nuovo che si aggiunge a quelle proposizioni e ne amplia il sistema. Se dico semplicemente: «Io mento», questa proposizione, implicante per così dire una immediata riflessività su se stessa, non è nè vera nè falsa. Similmente se io scrivo sopra una lavagna un certo numero di proposizioni false e vi aggiungo poi: «tutto ciò che qui è scritto è falso», di quest'ultima proposizione si può dire che se è vera deve esser falsa e se falsa vera.

L'impossibilità del soggetto di prendere sè stesso come oggetto, cioè la constatazione che lo spirito in atto non può riflettersi sopra di sè senza perdersi in un passato, costituisce il motivo fondamentale della filosofia di Hegel, che il Royce ha illustrato come *paradosso della coscienza*. Ogniqualevolta l'io tenta di riflettersi sopra di sè per cogliersi in un pensiero o in un'azione, quell'io at-

tivo che egli vorrebbe attingere è già straniato dall'io presente.

Io mi sorprendo in un gesto d'odio cercando di nuocere al mio nemico, ma se nell'istante stesso mi volgo a guardare quel mio io inferocito e a rendermi ragione del suo agire, già al posto dell'odiatore si disegna un osservatore ragionante.

Ritorniamo a meditare sull'atteggiamento di colui che vede nella possibilità della previsione scientifica qualcosa di contraddittorio al suo libero arbitrio. Io mi sforzo e lotto contro le difficoltà e le opposte passioni per il raggiungimento di uno scopo che ritengo degno della mia volontà. A che questa sofferenza se dagli elementi della realtà presente è possibile dedurre senza ambiguità l'esito della mia lotta? Ma gli elementi della previsione, cioè i motivi che determinano il mio agire, costituiscono una serie che può estendersi all'infinito soprattutto in quei casi dubbi nei quali la decisione finale dipende dal gioco di piccolissimi fattori. Pertanto nè io stesso nè altri, può attingere una previsione rigorosa e sicura, sebbene possa ragionevolmente giustificare una aspettativa probabile.

Ora quale effetto psicologico può avere su di me la consapevolezza che altri si aspetti da me una data azione? Per esempio, che qualcuno bene conoscendo l'animo mio, mi accordi in una data occasione la fiducia che io saprò trionfare di ogni debolezza e compiere coraggiosamente il mio dovere? È chiaro che questa fiducia, lun-

gi dal lasciarmi abbattere, in una pigra indifferenza, varrà a confortare la mia volontà.

Non crediamo dovere altro aggiungere per mostrare che la nostra credenza nel libero arbitrio, postulato fondamentale della ragion pratica, non contraddice in alcun modo all'esigenza razionale del determinismo scientifico, almeno finché ci si astenga dal discutere le questioni metafisiche, che sorgono dal concetto assoluto della divinità. Soltanto lo spirito romantico che tende a sublimare la libertà di potenza, disconoscendo i limiti posti dalla realtà obiettiva, che sono insieme i postulati fondamentali della scienza e della religione, dovrà trovare in codesto determinismo qualcosa di repugnante ai motivi morali che lo sollecitano. E perciò lo spirito dei successori di Kant rifiuterà il suo determinismo scientifico, interpretando e svolgendo in senso contrario il concetto della libertà noumenica.

Capitolo III.
DETERMINISMO E INDETERMINISMO
NEL SECOLO XIX E AGL'INIZI DEL XX

23) Il determinismo nella fisica matematica: la formula di Laplace.

Mentre i filosofi speculavano, come si è detto, intorno al fondamento della causalità, i matematici, sforzandosi di rappresentare analiticamente il determinismo dei processi fisici, riuscivano a comprenderne meglio il significato.

Questo sforzo si è compiuto sul terreno della dinamica e riesce a tradurre il determinismo nelle *equazioni differenziali del moto*.

Mentre l'intuizione ingenua del senso comune figura la forza come impulso e vede in essa la causa della velocità comunicata al mobile, la dinamica di Galilei-Newton, partendo da un moto naturale, che tende a conservarsi per inerzia, descrive la variazione del moto in un *campo di forze* (staticamente definite), facendo della

forza la causa dell'accelerazione (o variazione della velocità); il determinismo del fenomeno appare così decomposto in una serie di azioni elementari, esercitanti per continuità spazio-temporale, da ogni intorno del punto materiale mobile sul punto stesso: «molta forza, dice Galileo, si ottiene in tal guisa da debolissimi momenti».

Senonchè la rappresentazione indicata postula come qualcosa di reale le «forze» definite entro un campo mediante esperienze possibili (peso, ecc.) e per comprendere il determinismo nella sua interezza occorre rendersi conto del modo come variano queste stesse forze.

Newton riesce a ciò definendole in funzione dei corpi lontani, come se fossero azioni istantanee a distanza della materia sulla materia. Ma se si vuole spiegare tali azioni, in conformità alle nostre esigenze razionali, si dovrà fingere l'esistenza di qualcosa che si aggiunga alla materia visibile – etere, mezzi elastici, particelle o masse nascoste – e ridurre poi le forze Newtoniane ad azioni e reazioni propagantisi per contiguità traverso questi enti fittizi. Comunque, si riesca o meno a realizzare una conveniente rappresentazione del determinismo fisico per contiguità, la teoria Newtoniana ci suggerisce la veduta di una reciproca dipendenza di tutto ciò che è o avviene nel mondo. In altri termini l'idea di una causalità lineare, di un tessuto di serie causali interferenti, che abbiamo scorto essere professata da Galilei e ancora da Newton, viene superata dall'intuizione consapevole della *solidarietà dell'Universo*. I fisici matematici al pari di

Kant dovevano riconoscere questa intuizione nella dottrina del Maestro. Poco prima della fine del secolo XVIII in una lezione del 1795⁵⁸ Laplace spiegava con precisione il concetto del determinismo universale con parole che sono ancora generalmente ricordate:

«Les événements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident, qu'une chose ne peut pas commencer d'être sans une cause qui la produise. Cet axiome, connu sous le nom de *principe de la raison suffisante*, s'étend aux actions mêmes que l'on juge indifférentes...» se non si vuol ricadere, come dice Leibniz, nel cieco caso degli Epicurei.

«Nous devons envisager l'état présent de l'Univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux». Lo spirito umano possiede nella meccanica celeste un piccolo campione di codesta scienza ideale, e, del resto, tutti gli sforzi nella ricerca della verità «tendent à le rapprocher sans cesse de l'intelligence que nous ve-

58 Cfr. *Théorie analytique des probabilités*, 3^a ed., 1820, introduzione, pag. VII.

nons de concevoir, mais dont il restera toujours infiniment éloigné».

24) *Meccanicismo e positivismo*.⁵⁹

L'unità del reale non è stata inventata o scoperta da Newton o da Kant o da Laplace. Essa è una esigenza della ragione umana, che si palesa, in qualche modo, nelle speculazioni di tutti i filosofi; ma assume un significato concreto attraverso lo sforzo costruttivo della scienza moderna.

Alla base di questa c'è la tradizione democritea che ispira il pensiero rinnovatore dei Galilei, dei Descartes, dei Newton etc. e suscita la veduta generale del meccanicismo. Il secolo XIX raccoglie tale veduta come eredità spirituale dei precedenti, e ne trae il programma concreto di una spiegazione meccanica dei fenomeni fisici.

Ricordiamo che Pascal aveva accettato l'ideale di Descartes, come una meta irraggiungibile: «il faut dire en gros: cela se fait par figure et mouvements, car cela est vrai; mais de dire quels et composer la machine, cela est ridicule...». Ora, invece, dopo la costruzione della dinamica newtoniana, il disegno di comporre la macchina

⁵⁹ Cfr. Enriques e Di Santillana, *Compendio di storia del pensiero scientifico, dall'antichità fino ai nostri giorni*, Bologna, Zanichelli, 1937.

(sia pure nel quadro più largo delle idee accettate dal suo fondatore) non sembra più impossibile; esso diventa anzi lo scopo prossimo della ricerca, fuori del quale l'ipotesi astratta del meccanicismo finisce per apparire senza valore.

Ma appunto perchè la domanda si trasporta così sul terreno di una spiegazione quantitativa precisa, i ricercatori debbono acquistare consapevolezza delle difficoltà dell'impresa e dei limiti che l'ipotesi stessa pone alla libertà della loro ricerca. D'altra parte l'esempio di Newton, che non ha esitato ad accettare le forze a distanza come un dato positivo non altrimenti spiegato, suscita naturalmente la tendenza ad emanciparsene.

Mentre Laplace nella «*Mécanique Céleste* – III, I» postula che tutti i fenomeni terrestri dipendono dalle attrazioni molecolari come i fenomeni celesti dalla gravitazione universale, Lagrange insegna ad allargare gli schemi della dinamica newtoniana colla meccanica analitica. Nello studio dei fenomeni dell'elasticità Navier (1821) e Poisson riprendono il punto di vista di Laplace: «Lagrange – dice Poisson nella memoria fondamentale del 1829 – est allé aussi loin qu'on peut le concevoir, lorsqu'il a remplacé les liens physiques des corps par des équations entre les coordonnées de leurs différents points; c'est là ce qui constitue la *Mécanique-analytique*; mais à côté de cette admirable construction, on pourrait maintenant élever la *Mécanique physique*, dont le principe unique serait de ramener tout aux actions moléculaires, qui transmettent d'un point à l'autre l'ac-

tion des forces données et sont l'intermédiaire de leur équilibre».

È noto d'altronde che lo schema lagrangiano, adottato in tali questioni da Green, ha condotto, in confronto dell'ipotesi delle forze centrali, ad una teoria più generale dell'elasticità con la quale questa ipotesi non potrebbe accordarsi finchè si ritengano come fissi i centri fra cui si esercitano le forze.

Anche in altri campi della fisica l'idea meccanicistica incontra un limite nella difficoltà della realizzazione. Perciò Fourier (1822) nello studio della propagazione del calore ritiene di doverne prescindere: «les causes primordiales – scrive egli – ne nous sont point connues; mais elles sont assujetties à des lois simples et constantes que l'on peut découvrir par l'observation et dont l'étude est l'objet de la philosophie naturelle».

Similmente Ampère, nella investigazione dell'elettrodinamica (1822-27) rinuncia, almeno provvisoriamente, alla ricerca delle cause meccaniche, per costruire una «Théorie mathématique des phénomènes... uniquement déduite de l'expérience». «Le principal avantage des formules qui sont ainsi conclues de quelques faits généraux – scrive egli nel preambolo alla sua memoria fondamentale – est de rester indépendantes tant des hypothèses dont leur auteurs ont pu s'aider dans la recherche de ces formules que de celles qui peuvent leur être substituées dans la suite».

«Quelque soit la cause physique à laquelle on veuille rapporter les phénomènes, la formule que j'ai obtenue

restera toujours l'expression des faits. Si l'on parvient à la déduire d'une des considérations par lesquelles on a expliqué tant d'autres phénomènes, telles que les attractions... on fera un pas de plus dans cette partie de la Physique».

I motivi così affermati nella fisica-matematica contemporanea si esprimono con nuovo vigore nel «Cours de philosophie positive» di Auguste Comte.

25) *La dottrina di Comte.*

Attraverso lo sforzo costruttivo delle teorie fisiche, di cui si è discusso, il pensiero è venuto a riconoscere che le ipotesi meccaniche contengono qualcosa di arbitrario. Comte andrà più oltre affermando che esse sono vuote e prive di senso, come quelle che dovrebbero offrirci la pittura di una realtà obiettiva trascendente, di là di ogni esperienza possibile: «Tous les bons esprits reconnaissent aujourd'hui que nos études réelles sont circonscrites à l'analyse des phénomènes pour découvrir leurs lois effectives, c'est à dire leurs relations constantes de succession ou de similitude, et ne peuvent nullement concerner leur nature intime, ni leur cause, ou première ou finale, ni leur mode essentiel de production»⁶⁰.

60 «Cours» (1835), Leçon 28, II, pag., 435.

Così la teoria del calore di Fourier diverrà per Comte il modello della teoria scientifica positiva, mentre le speculazioni sulla meccanica fisica della scuola di Laplace verranno denunciate come metafisiche, al pari dell'ottica delle ondulazioni di Fresnel; le analogie che questa dottrina stabilisce fra la luce ed il suono appariranno all'A. gratuite ed incomprensibili, incapaci di perfezionare realmente i nostri modi generali di coordinazione del sapere⁶¹.

Al posto di esse si disegnerà un nuovo ideale scientifico, quale si è realizzato, ai nostri giorni, nell'Ottica senza ipotesi di E. Mach.

Coll'abbandono dell'ipotesi meccanica va congiunta nel pensiero del Comte la rinuncia all'unità del sapere. La Classificazione delle scienze risponde per lui alla veduta di una gerarchia delle classi di fenomeni della Natura, ciascuna delle quali deve formare oggetto di una propria dottrina, che suppone il grado inferiore ma vi aggiunge qualcosa di nuovo.

Respinte le analogie ipotetiche che pretendono adombrare assimilazioni reali e fondamentali, l'unità rimane senza consistenza e senza utilità. «Que l'esprit humain sache donc... renoncer enfin à l'irrationnelle poursuite d'une vaine unité scientifique»⁶².

I principii comtiani importano che nella trattazione matematica dei fenomeni fisici figurino soltanto quanti-

61 Leçon, 33, II, pag. 647.

62 Leçon, 33, II, pag. 649.

tà misurabili, cioè definite come dati dell'esperienza: le leggi scientifiche enunciano rapporti invariabili fra questi dati, e perciò il concetto della causa si riduce a quel *postulato di legalità* cui abbiamo visto essere condotto David Hume nell'ultima fase d'evoluzione del suo pensiero. Siccome poi le misure dei dati sperimentali sono necessariamente approssimate, ne consegue che le leggi stesse non possono pretendere in alcun caso ad un perfetto rigore: criticamente valutate esse importeranno soltanto rapporti *quasi-invariabili* fra i dati suddetti. La questione del determinismo o del non-determinismo assoluto apparirà, sotto questo aspetto, priva di senso. Comte stesso sembra almeno ritenere che le leggi messe in rilievo dalla scienza siano una semplificazione della realtà; dice: «les loi naturelles véritables objet de nos recherches, ne sauraient demeurer rigoureusement compatibles, en aucun cas, avec une investigation trop détaillée»⁶³.

D'altra parte è ovvio che nel concetto comtiano della causalità non si fa più alcun conto delle esigenze razionali (contiguità dell'azione ecc.) per soddisfare alle quali si era dovuta allargare la realtà scientifica coll'introduzione di enti fittizi, giudicati ora ipotesi vane e prive di senso.

L'ideale della scienza positiva, ridotta ad una somma di fatti o leggi aventi un significato obiettivo, indipendente da ogni rappresentazione immaginativa, diviene,

63 Op. cit., VI, pag. 637-38.

dopo Comte, un principio attivo nel progresso della costruzione scientifica. Ma di fronte ad esso resta ancora la tendenza opposta che si esprime col meccanicismo: la quale si ravviva, per alcun tempo, colla scoperta del principio di conservazione dell'energia, sebbene gli sviluppi più recenti dell'energetica dovessero ricondurre Mach, Ostwald e Duhem, ad una visione strettamente positivista. Ad ogni modo l'esigenza di una comprensione scientifica unitaria si fa valere al disopra della controversia fra i due atteggiamenti del pensiero. Un grande successo in questo senso è la teoria elettromagnetica della luce, fondata da Clerk Maxwell (1871) e confermata dalla scoperta delle onde hertziane (1886).

26) *L'idealismo romantico.*

I motivi del positivismo si intrecciano e interferiscono coi motivi romantici negli sviluppi della filosofia, che mettono capo all'*empirismo radicale*, alla fine del secolo XIX. L'idealismo di Fichte, Schelling, Hegel, successori di Kant nel cielo della speculazione tedesca, porge un'espressione dell'anima romantica contrastante agli spiriti della scienza, e specialmente della Fisico-Matematica. La filosofia della natura, che accanto a Schelling e Hegel, trova altri numerosi cultori, implica una visione vitalistica della realtà universale, e per questo

aspetto un senso caratteristico dell'unità del reale. Ma per contro riesce a combattere radicalmente quel realismo o terminismo scientifico, che soggiace al concetto della legge fisica. In un organismo vivente non ci sono più classi omogenee di elementi, ma semplici organi differenziati, che si trovano fra di loro in connessione reciproca; e l'organismo stesso non appare già come un sistema di astratte possibilità matematiche, immutabili nel tempo, bensì come qualche cosa che evolve progressivamente e in cui le differenti fasi hanno un significato come fini da realizzare nella storia di queste evoluzioni.

Similmente per gli idealisti romantici e in ispecie per Hegel, che ne rispecchia e riassume il movimento, la realtà viene concepita sotto l'aspetto storico come un sistema di individui nettamente differenziati, ciascuno dei quali è definito da una serie di relazioni infinitamente estendibili, nella connessione organica del Tutto.

Anche quando la filosofia della Natura verrà sommersa dal risorgere dei valori scientifici verso la metà del secolo scorso, resta sempre l'aspirazione a comprendere l'universo, non più soltanto come un sistema di leggi matematiche, che comportano infinite possibilità astratte, bensì nel suo divenire concreto, in rapporto agli interessi umani. Accanto alla scienza propriamente detta, si riafferma l'idea della *storia naturale*.

La dottrina della evoluzione di Herbert Spencer, cercherà appunto di soddisfare la nuova esigenza comprensiva, che è maturata attraverso le anzidette speculazioni.

27) *Contingentismo, pragmatismo, empirismo radicale.*

L'interferenza dei motivi positivistici e dei motivi romantici spiega gli orientamenti antiscientifici della teoria della conoscenza, che si disegnano alla fine del secolo scorso, per esempio da Emile Boutroux⁶⁴, William James⁶⁵ e Henri Bergson⁶⁶.

Abbiamo detto che l'esigenza dell'unità del reale, già nel campo della fisica-matematica, viene a contrastare il concetto della linearità delle cause; quindi il fenomeno o l'oggetto singolo, concepito nella sua connessione con infiniti altri elementi, apparisce possedere una realtà individuale, come nella visione storica della natura. Ma la stessa connessione delle cose che appare nell'intendimento si ritroverà in effetto nelle cose stesse? Sussiste veramente che le leggi fisiche stringono dappresso i fenomeni della realtà, così da rendere determinato il corso degli eventi futuri?

Boutroux si fonda sopra la gerarchia delle conoscenze, stabilita da Comte, per negare questo determinismo, ritenendo che nei gradi superiori della gerarchia appaia una contingenza sempre più larga. Anche più nettamen-

64 *De la Contingence des lois de la nature*, 1874. *L'Idée de lois naturelles*, 1895.

65 *The Will to believe*, New York, 1897. *Pragmatism*, 1907. *Essays in radical empirism*, 1912.

66 *Essai sur les données immédiates de la conscience*, Paris, 1889. *Matière et mémoire*, 1896. *L'évolution créatrice*, 1907.

te da Bergson e da James si afferma l'incompatibilità del determinismo fisico con una concezione romantica della libertà morale, che repugna al riconoscimento di un mondo obiettivo, cui la nostra volontà debba subordinarsi. La creazione del nuovo, che sorge imprevedibilmente come ascesa ad un grado più alto della realtà, il vitalismo bergsoniano ed il pluralismo di James, rivelano, similmente l'ispirazione comune di codeste filosofie, che riceve lume dal confronto colla radicale negazione dei postulati fondamentali della scienza e della religione nell'amoralismo di Nietzsche.

L'influenza di codesti pensatori si spiega anche negli ambienti propriamente scientifici, anzitutto avvalorando in generale la visione pratico-utilitaria del sapere, e poi anche per ciò che essi recano di positivo, intendiamo l'*empirismo radicale* cui s'ispira la loro analisi della conoscenza. I dati immediati della coscienza, non sono più gli oggetti o le qualità semplici di essi, come era per Locke, bensì prospettive sintetiche o quadri della realtà – la veduta complessiva della mia camera o di un angolo del mio giardino – da cui gli oggetti singoli, p. es. un tavolo contenuto nel quadro, si costruiscono con un lavoro di associazione e d'astrazione che conferisce ai prodotti dell'intelligenza carattere artificiale.

Per apprezzare l'influenza generale che questi atteggiamenti filosofici debbono avere esercitato, anche negli ambienti scientifici, conviene aggiungere che gli stessi motivi trovansi espressi nelle forme più varie da altri indirizzi largamente diffusi del pensiero filosofico con-

temporaneo in Italia, in Francia, in Germania, in Inghilterra ed in America.

28) *Probabilità e legge statistica.*

Prima di volgerci alla nuova critica della conoscenza scientifica che s'inizia verso la fine del secolo scorso, conviene menzionare l'importanza che viene assumendo nella scienza il concetto di probabilità e le teorie statistiche che vi si collegano.

L'osservazione delle regolarità statistiche quali si riscontrano in sistemi comprendenti un gran numero di eventi singoli ed arbitrari, ha condotto naturalmente a considerare, accanto alle *leggi naturali*, concepite come espressioni un *rigoroso determinismo* base di giudizi certi, delle leggi statistiche, su cui possono basarsi solo delle aspettative probabili.

A. Cournot, che accoglie nelle sue speculazioni alcuni motivi del positivismo di Comte, si allontana dal dogmatismo di questi, ritenendo la certezza di una conoscenza come limite di una probabilità, che tende all'infinito⁶⁷. Egli considera che vi sieno nell'universo serie relativamente indipendenti di fenomeni legati da un rap-

⁶⁷ *Exposition de la théorie des chances et des probabilités* (1843). *Essai sur les fondements de la connaissance et sur les caractères de la Critique philosophique* (1851).

porto causale, e dall'interferenza di queste fa nascere il caso.

Pochi anni appresso le vedute generali di questo filosofo trovavano un'applicazione concreta nella fisica, quando Clausius (1850) e Maxwell (1859) ripresero ed approfondirono la teoria cinetica dei gas già iniziata un secolo prima da Daniele Bernoulli, spiegando la legge di Boyle e di Mariotte, e quella di Volta e di Gay Lussac, come regolarità statistiche che si presentano nel moto stazionario di un sistema di particelle, liberamente mobili in tutte le direzioni.

Alla teoria cinetica dei gas va collegato il problema generale della possibilità di una spiegazione meccanica del calore.

Mentre la scoperta della conservazione dell'energia si rivelò tosto come una conseguenza dell'ipotesi meccanica, il secondo principio della Termodinamica, che Clausius ha ripreso da Carnot, indicava un *senso* del processo cosmico, che appare incompatibile colla reversibilità dei fenomeni meccanici, implicata nella forma delle equazioni della Dinamica.

Le riflessioni dei fisici sopra nominati e specialmente di L. Boltzmann (dopo il 1870) indicano una via per sciogliere il paradosso: l'inverso di un dato fenomeno è a priori ugualmente possibile, ma quando si tratta del moto di molteplici particelle, i sistemi di moti ordinati sono infinitamente meno numerosi dei sistemi di moti disordinati e perciò il passaggio dal primo caso al secondo possiede una probabilità che si confonde pratica-

mente colla certezza. Così, per esempio, se si agitano insieme due polveri si otterrà un miscuglio di particelle sempre più intimo, riuscendo sempre meno probabile che le due sostanze vengano separate.

Il concetto probabilistico della legge fisica, che in tal guisa si vede nascere e che per taluni dovrà assumere più tardi un valore esclusivo, viene ad agire sul pensiero dei fisici positivisti in un senso che ben si accorda con quel contingentismo, che abbiamo visto trarre la sua ispirazione da motivi romantici.

29) *La nuova critica epistemologica: Mach.*

Fra i cultori della scienza fisica che si volgono a speculare intorno al significato di essa, alla fine del secolo scorso, merita speciale menzione Ernesto Mach⁶⁸, il quale riprende ed approfondisce lo spirito del positivismo comtiano e d'altra parte si accosta a Kant riguardando il postulato della causalità come presupposto della ricerca scientifica. Pure la veduta Kantiana egli interpreta nel senso di un *nativismo psicologico* e la confuta negando che il principio di cui si discorre risponda ad una forma innata della mente, già in sè determinata e perfetta. Ciò che vi è di innato è soltanto la disposizione

68 Cfr. *Erkenntnis und Irrtum*, 2^a ed., Lipsia, 1906, pag. 280 e seg. (cfr. Oelzeit-Newin, ivi citato pag. 282).

fisiologica a certe associazioni, che si manifesta coi riflessi. L'atteggiamento di consapevole aspettativa del soggetto formato, cioè il postulato metodologico, che sta alla base della ricerca, non è che lo sviluppo della istintiva disposizione dell'organismo, e il fondamento obiettivo della sua giustificazione sta nella dipendenza funzionale che intercede fra certi dati o elementi della realtà. Il principio di causa si risolve intieramente in queste relazioni funzionali. Il Mach aveva già avuto luogo di tradurre in tal guisa la causalità in altri precedenti lavori⁶⁹ ed ha rilevato che nelle equazioni con cui si esprime il legame di certi dati obiettivi, figurano generalmente dei parametri, che si assumono nella pratica come costanti (le cosiddette condizioni permanenti della natura) dove si palesa insomma il nesso solidale della intera realtà.

La scelta di alcuni elementi determinati, che – in confronto di altri – si assumono come fattori della causa, implica per lui qualcosa di volontario, in vista di un interesse biologico.

Qui appunto si palesa il pragmatismo del filosofo di Vienna. «Ciò che noi chiamiamo causa ed effetto – dice ancora il Mach⁷⁰ – non sono che le caratteristiche principali di un dato sperimentale, le quali hanno una impor-

⁶⁹ *Analyse der Entpfindungen...* Jena, 1900 (Cap. V, § 95). *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes der Erhaltung der Arbeit*, Praga, 1872.

⁷⁰ *Oekonomische Natur der Wissenschaft*, Populär Wissenschaftliche Vorlesungen, 3^a ed., pag. 277.

tanza maggiore delle altre nella riproduzione, che ne fa il nostro intelletto».

La questione del *determinismo* e dell'*indeterminismo* aggiunge egli⁷¹ non può essere risolta con una precisa dimostrazione, giacchè occorrerebbe per ciò una scienza perfetta che è manifestamente impossibile. Ma si tratta, come sopra è detto, di un presupposto, che è necessario ad ogni pensatore durante la ricerca. Lo stesso principio della regolarità statistica, la cosiddetta *legge dei grandi numeri* di Giacomo Bernulli, si deduce soltanto, egli afferma, come conseguenza della causalità. Del resto la scienza esige una certa, sia pure non assoluta, stabilità del pensiero. Quest'ultima si lascia dedurre dalla prima e le serve di presupposto; in sostanza ne costituisce una parte. Forse non esiste alcuna perfetta stabilità; in ogni caso la stabilità si verifica in limiti sufficienti, quanto basta per fondare un ideale della scienza.

30) *Pearson.*

Un altro filosofo, che al Mach è strettamente apparentato, afferma più nettamente *vedute indeterministiche*.

Carl Pearson, il cultore della biometrica ed autore del libro «The Grammar of Science» (1892), già nella introduzione di quest'opera denuncia il «Feticcio della causa,

⁷¹ *Erk. u. Irr.*, op. cit., pag. 282.

che si trova negli arcani insondabili della Scienza». «Questa categoria – dice – è ella altra cosa che un limite concettuale dell'esperienza, senza alcuna altra base nella percezione, che non interviene che come approssimazione statistica?».

«L'Universo – spiega nel Cap. V § 5 – è formato di entità innumerevoli, ciascuna probabilmente individuale, ciascuna probabilmente non permanente; tutto ciò di cui l'uomo può venire a capo è di classificare queste entità secondo la misura e l'osservazione delle loro caratteristiche, in classi di individui analoghi. Grazie a queste classificazioni si può notare delle variazioni nelle classi, e il problema fondamentale della scienza è di scoprire come la variazione in una classe sia correlativa o contingente in confronto alla variazione in una seconda classe». E più oltre: «L'Universo è una somma di fenomeni di cui taluni sono più contingenti, altri meno, rispetto a ciascuno degli altri: questa è la concezione più vasta di quella della causalità, che possiamo trarre dalla nostra esperienza allargata».

31) *Poincaré*.

Chi si arresti ad alcune dichiarazioni del «*Traité des probabilités*» dovrebbe ritenere Henri Poincaré assertore del più rigido determinismo scientifico. Anche nello

scritto su «Le hasard» egli fa professione di determinismo. «Gli antichi – dice – distinguevano fenomeni che obbediscono a leggi e fenomeni che si producono a caso». «Noi siamo divenuti dei deterministi assoluti, e quelli stessi che vogliono riservare i diritti del libero arbitrio umano lasciano almeno regnare il determinismo, senza distinzione, nel mondo inorganico. Ogni fenomeno, per minimo che sia ha una causa, e uno spirito infinitamente potente ed infinitamente informato delle leggi della natura, avrebbe potuto prevederlo fin dall'inizio dei secoli. Con un tale spirito, se esistesse, non si potrebbe giocare ad alcun gioco d'azzardo, poichè si perderebbe sempre».

Ma queste dichiarazioni in cui si ode l'eco delle idee di Laplace, non esauriscono il pensiero di Poincaré filosofo, che ha pure subito qualche influsso dal contingentismo del suo congiunto Boutroux. In ispecie la visione della solidarietà dell'Universo gli suggerisce alcune riflessioni caratteristiche⁷².

L'enunciato di una legge qualsiasi, spiega egli, è necessariamente incompleto, perchè dovrebbe comprendere l'enumerazione di *tutti* gli antecedenti in virtù dei quali un dato conseguente potrà prodursi; ma tutte le parti dell'Universo possono esercitare una influenza più o meno grande sul fenomeno che sta per prodursi ad un istante successivo. Gli scienziati non hanno mai disco-

⁷² *Contingence et déterminisme*, Cap. XI di *La valeur de la science*, Parigi, 1904.

nosciuto che una legge particolare non è che approssimata e probabile; ma essi credono, a torto o a ragione, che ogni legge possa essere rimpiazzata da un'altra più approssimata e probabile, e così via indefinitamente, di modo che l'approssimazione finirà per differire tanto poco quanto si vuole dall'esattezza e la probabilità dalla certezza⁷³.

In modo più preciso egli conclude queste riflessioni così⁷⁴: «Supposons que nous puissions embrasser la série de tous les phénomènes de l'univers dans toute la suite du temps. Nous pourrions envisager ce que l'on pourrait appeller des séquences, je veux dire des relations entre antécédents et conséquents. Nous reconnaitrions alors que parmi ces séquences il n'y en a pas deux qui soient tout à fait pareilles. Mais... il y en aura qui seront à peu près pareilles et qu'on pourra classer les unes à côté des autres. En d'autres termes, il est possible de faire une classification des séquences. C'est à la possibilité et à la légitimité d'une pareille classification que se réduit en fin de compte le déterminisme».

73 Cfr. op. cit., pag. 251.

74 Ibidem, pag. 260.

32) *Enriques.*

Le idee dei filosofi, che abbiamo preso in esame, e il fatto che nonostante la diversa origine e le diverse tendenze essi si accordino in una stessa limitazione del determinismo, si spiegano osservando che questa limitazione consegue immancabilmente dalla *concezione positivistica* o empiristica della scienza.

Come già notammo, per chi restringa la scienza ai fatti sperimentali la *questione* se sussista un *determinismo rigoroso* è *priva di senso*. Giacchè i dati sensibili non possono formare oggetto di definizione esatta, e quindi i rapporti di essi nell'esperienza non possono essere che approssimati. Vogliamo dire almeno che il determinismo rigoroso può concepirsi come limite dell'esperienza?

Anche questa pretesa di conferire al determinismo un valore assintotico, in altre parole il presupposto che si possa avvicinarsi, almeno teoricamente, a una determinazione esatta del fenomeno, non regge all'esame.

E già nel caso semplice in cui si tratti della lunghezza di un regolo, è facile scorgere che «la misura esatta non significa nulla... Ciò che sappiamo o supponiamo della materia (struttura atomica, movimenti delle ultime particelle per cui la lunghezza da misurare è continuamente variabile) e ciò che ammettiamo relativamente alla luce (soprattutto la nozione di lunghezza d'onda) creano ostacolo all'ipotesi (di una determinazione rigorosa); sicchè non è difficile per esempio di assegnare un limite teori-

co, non troppo lontano dal limite pratico effettivamente raggiunto, alla più piccola lunghezza visibile col microscopio».

L'autore di questa osservazione⁷⁵ ritiene tuttavia che si possa conferire un significato all'*ipotesi* della misura esatta, in relazione alle conseguenze che se ne deducono.

La realtà dell'oggetto viene definita da Enriques (e già prima di lui da J. Pikler) come rapporto invariante fra certi atti volontari e le sensazioni che vi si connettono: C'è un tavolo quando guardando in un certo modo e da una certa posizione si prova una impressione del tatto. Questa definizione si estende dall'oggetto e dal fatto bruto ai fatti o sistemi di fatti concatenati nelle teorie scientifiche⁷⁶. Qui le ipotesi, cui si lega la interpretazione delle esperienze, costituiscono la premessa volontaria di rapporti invarianti più generali.

E la ricerca degli invarianti – o dei rapporti più invarianti – nel flusso delle cose sensibili, deve esser messa in relazione coi principi logici di identità e di contraddizione, che esigono appunto l'invarianza degli oggetti del pensiero⁷⁷.

Il contenuto positivo delle teorie scientifiche consiste nell'insieme delle previsioni sperimentali a cui esse ci abilitano; ma la scienza, considerata nel suo divenire, non si esaurisce in codesto contenuto; le ipotesi e le teo-

75 F. Enriques, *Problemi della scienza*, 1906, cap. I, § 20.

76 Op. cit., cap. II.

77 Op. cit., cap. III, § 25.

rie hanno un valore euristico, che risponde all'appagamento di certe esigenze razionali. Più tardi l'Autore ne rintraccerà il significato nella Storia del pensiero scientifico.

Così all'incontro della tendenza affermata dal Mach e da una larga schiera di scienziati contemporanei, l'Enriques afferma che le *ipotesi e le rappresentazioni immaginative conducono al di là della scienza positiva*⁷⁸. Sotto tale aspetto la spiegazione causale implica qualcosa di più che la semplice risposta alla domanda del «come si produca un certo fenomeno». La scienza oltrepassa questa spiegazione allorchè cerca di dar ragione del «perchè»⁷⁹. A quest'ultima domanda si può conferire un senso per riguardo ad una rappresentazione immaginativa, che leghi l'effetto alla causa, mediante una *continuità* di immagini. Così il fisico, che ha adottato la teoria cinetica del calore, vede il moto del martello che percuote una lastra di metallo prolungarsi nei moti disordinati delle particelle di questo, che si manifestano a noi col riscaldamento.

78 Cfr. op. cit., cap. IV-VI.

79 Op. cit., III, 33.

33) *Meyerson.*

Le idee che abbiamo esposto si accordano assai bene coll'analisi svolta dall'eminente pensatore contemporaneo che fu Emilio Meyerson⁸⁰. Il quale, traverso un esame largo e profondo delle teorie fisiche, è giunto a discriminare due significati diversi che spesso si confondono nel concetto del determinismo scientifico e che rispondono alla distinzione leibniziana della ragione e della causa. All'incontro della tesi positivista (di Hume, di Comte, di Mach e di Duhem) Meyerson ritiene che il postulato delle successioni fenomeniche costanti, fondamento della credenza delle «leggi naturali» o, come egli dice, il principio di *legalità*, non esaurisca affatto il significato della scienza che, colla ricerca delle «cause» tende ad uno scopo *esplicativo*.

Un ordine di fenomeni, che lascia apparire mutamento o diversità, deve ritenersi razionalmente spiegato nella misura in cui ci è dato di riconoscere l'identico nel diverso. In questa esigenza si palesa la natura dell'intendimento umano, essenzialmente unificatore. Per esso riesce intelligibile solo ciò che non varia; comprendere la variazione significa scoprire in essa qualcosa che rimane costante.

La tesi viene dimostrata in particolare con un vasto esame della storia delle dottrine atomistiche e dei principi di conservazione (conservazione della materia, con-

⁸⁰ *Identité et Réalité*, Paris, Alcan, 1908.

servazione della velocità o inerzia, conservazione dell'energia). Il contenuto di questi principi è dato dall'esperienza, ma la forma d'identità che essi rivestono risponde a un *a priori* della ragione. E la ragione che si rivela negli sviluppi della scienza, si ritrova pure la stessa nel cammino del pensiero che costruisce la realtà del senso comune⁸¹. All'incontro degli empiristi inglesi che tentavano di ricondurre il grado superiore delle nostre costanze all'inferiore, il filosofo francese ritiene infatti che la consapevolezza del processo scientifico più alto valga ad illuminare anche i processi psichici più elementari.

Ma poichè l'intimo significato della nostra aspirazione razionale consiste nel negare il diverso e il mutabile, che costituisce la «Natura», codesta aspirazione non potrà mai essere soddisfatta pienamente, nè per la totalità dei fenomeni, nè per qualche ordine di fenomeni in particolare: ogni ricerca in cui essa parzialmente si appaghi lascerà come residuo qualcosa di opaco, resistente ad ogni spiegazione, che l'Autore designa col nome di *irrazionale*.

«Les matières élémentaires qui existaient avant le phénomène ont subsisté après; de ce côté il n'y a pas eu de changement. Le poids est également le même; là encore rien n'est modifié. Enfin l'énergie aussi s'est conservée. En somme, aussi loin que va notre explication, *il ne s'est rien passé*. Et comme le phénomène n'est que chan-

81 *Du cheminement de la pensée*, t. I, II, III, Paris, Alcan, 1931.

gement, il est clair qu'à mesure que nous l'avons expliqué, nous l'avons fait évanouir. Toute partie expliquée d'un phénomène est une partie niée»⁸².

In contrasto con questi principii, il principio di Carnot-Clausius della degradazione dell'energia verrà ad esprimere la reazione della Natura che resiste allo sforzo esplicativo del nostro intendimento ed all'annullamento che ne sarebbe la conseguenza.

Invero la dottrina del Meyerson, che racchiude certo una parte importante di verità, conduce ad un assurdo. Dice molto bene L. Brunschvicg: «...une raison telle qu'elle ne parvient jamais à rendre compte de la réalité n'a aucune espèce de droit à être appelée raison; une conception de la causalité dont l'essence est de nier le changement et le cours du temps, c'est exactement le contraire de la causalité»⁸³. E giustamente osserva che si riconosce qui l'influenza del pensiero antintellettualistico di Bergson. L'antinomia si risolve richiamando il concetto critico della causalità: substance et cause ne sont nullement des réalités qui se définissent comme des choses et se représentent à l'intuition; ce sont des rapports, qui ne prennent une valeur de vérité que par leur connexion avec le contenu de l'expérience»⁸⁴.

Da parte nostra crediamo di chiarire la questione ravvicinando la veduta meyersonianiana a quella che abbiamo

82 *Id. et réal.*, op. cit., pag. 207.

83 *L'expérience humaine et la causalité physique*, Paris, Alcan, 1912, pag. 359.

84 Op. cit., pag. 360.

esposta nel capitolo precedente. Lo sforzo per cercare l'identico nel diverso si traduce nella ricerca degli invarianti, che abbiám visto costituire ciò che il pensiero logico assume come oggetto nella realtà fenomenica. L'identità rispecchia così esclusivamente l'aspetto logico della conoscenza; se oltre allo schema logico si guarda alla rappresentazione immaginativa, cioè alla ricostruzione viva della realtà nel pensiero scientifico, sia pure nella misura in cui questa è possibile, allora in luogo dell'identità si trova la continuità, e invece di un impoverimento del mondo fenomenico lo sforzo poetico che allarga ed arricchisce il reale colla veduta di più vaste possibilità. Tale è, per esempio, il significato della teoria di Maxwell, per cui il fenomeno luminoso si dilata nella visione teorica di quelle onde elettro-magnetiche, che soltanto diciassette anni più tardi Hertz ha potuto realizzare nell'esperienza. Infine per chiarire il senso della nostra critica gioverà rivolgersi alle costruzioni delle Matematiche pure.

Dove i logici esclusivi hanno creduto di vedere una semplice tautologia, si scopre, invece un processo associativo del pensiero che colle definizioni dà vita a nuovi enti o a nuove figure⁸⁵. E convien dire che la deduzione stessa procede, non sulla base del principio di identità, bensì del principio d'eguaglianza, e che nel concetto dell'eguale è implicata l'affermazione simultanea di una

85 Cfr. Enriques-Frajese, *Le Matematiche nella Storia e nella Cultura*, Bologna, Zanichelli, 1938 (pag. 144).

identità e di una diversità. La ragion matematica, nel suo sviluppo concreto, supera dunque l'antinomia che il Meyerson ritiene come limite insuperabile al progresso della scienza.

Abbiamo esposto gli atteggiamenti principali del pensiero filosofico e scientifico nella questione del determinismo, quali si presentano alla fine del secolo XIX e nel primo decennio del secolo XX, cioè anteriormente alla crisi della fisica contemporanea.

Dobbiamo ora render conto dei nuovi sviluppi della scienza e delle idee che vengono spesso affacciate dai fisici, non come espressione di una propria filosofia, bensì come risultato delle più recenti dottrine e scoperte. E sarà interessante riconoscere il nesso che tali idee hanno con quelle dei pensatori precedenti.

Capitolo IV.
CAUSALITÀ E FISICA QUANTISTICA

34) *L'elettro-magnetismo e la teoria della relatività.*

Lo sforzo costruttivo per fornire una spiegazione meccanica dei fenomeni fisici e più in generale per unificare le diverse teorie che li concernono, si è proseguito per tutto il secolo XIX, e particolarmente, dopo le conquiste della Termodinamica, nel campo dell'elettromagnetismo; ma è riuscito ad una revisione critica dei principii della stessa Meccanica ed infine ad una crisi più radicale della scienza, per cui il meccanicismo viene sostanzialmente superato. Questi sviluppi riflettono insieme le esigenze razionali della costruzione teorica ed i sempre nuovi fatti messi in luce dall'esperienza.

La teoria più comprensiva dei fenomeni elettromagnetici dei corpi in moto, sviluppata da H. A. Lorentz (1892) riprende dalle più antiche costruzioni di Faraday e di Maxwell il concetto fondamentale di spiegare le

azioni per contiguità, traverso un mezzo ipotetico, che viene pensato insieme come veicolo della luce, al quale si dà il nome di Etere. L'etere resta almeno sistema di riferimento del moto, che in riguardo ad esso assume dunque il significato assoluto, già attribuitogli dalla dinamica classica di Galilei-Newton.

Ora quando si fa giuocare in qualche modo l'etere nella produzione o nella trasmissione delle forze traverso lo spazio, appare a priori che i principii newtoniani non potranno più valere nei confronti esclusivi della materia che si muove: per esempio il principio di azione e reazione non verrà più verificato se le forze attrattive non siano istantanee, ma richiedono un certo tempo di propagazione (Poincaré). Così un corpo investito dalla luce subisce una pressione, già prevista da Maxwell e Bartoli e verificata sperimentalmente da Lebedev, e questa pressione non si concilia col principio newtoniano di azione e reazione, perchè il momento in cui la luce investe il corpo non coincide con quello in cui emana dalla sorgente. Di più il Poincaré ha dimostrato che la violazione di codesto principio newtoniano è necessariamente legata ad ogni teoria elettromagnetica, che voglia tener conto del trascinamento parziale delle onde luminose.

D'altra parte lo studio di talune radiazioni ritenute in qualche modo come corpuscolari, veniva a mostrare che il principio d'inerzia (dove si suppone la massa costante) non si concilia con le alte velocità: avvicinandosi alla

velocità della luce s'incontra una resistenza al moto (ossia un accrescimento della massa), che tende all'infinito.

In tal guisa apparisce sempre più necessaria una revisione critica dei principii della meccanica. Se pur si ammetta che la meccanica classica sia verificata dal sistema complessivo delle masse materiali cui si aggiungano le masse nascoste dell'etere, la solidarietà universale implicata nella supposizione di questo fluido porterà che i moti apparenti delle masse visibili (i soli di cui vorrebbe tener conto la scienza positiva) non soddisfano più ai principii newtoniani. In questo quadro potrebbero trovar posto, per esempio, i fenomeni d'isteresi (elastica ed elettro-magnetica) che d'altra parte si lasciano rappresentare con un *postulato d'eredità*, per cui il moto d'un corpo dipenderebbe, non soltanto dalla sua posizione e velocità in un dato istante, bensì da tutto il passato anteriore.

Le esigenze di unificazione dei fenomeni elettro-magnetici e meccanici, si esprimono in modo caratteristico nella teoria della relatività di Alberto Einstein, che assume particolare importanza per la teoria della conoscenza scientifica. Secondo un concetto che risale ad Aristotele e si ritrova nei sistemi moderni di Kant e di Comte, si era ammesso sempre un ordine logico o una gerarchia naturale delle scienze⁸⁶; la geometria costituisce il primo grado del sapere e il presupposto della meccanica, come

86 Cfr. F. Enriques, *La Théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*, Paris, Hermann, 1938.

questa il presupposto della fisica. Soltanto la critica dei geometri non-euclidei ha messo in luce che i postulati geometrici non rispondono affatto ad una necessità logica e gnoseologica; anzi contengono una qualche verità contingente, che può essere fornita solo dall'esperienza. Senonchè l'esperienza geometrica pura non può essere concepita che per astrazione; in concreto ogni tentativo di saggiare le proprietà dello spazio mette in giuoco proprietà meccaniche e fisiche, che colle proprietà geometriche dei corpi sono indissolubilmente congiunte. Questa osservazione porta che la geometria, nel suo contenuto reale non possa isolarsi dalla scienza fisica, e si prolunghi naturalmente nella meccanica.

Qui si trova il principio della rivoluzione critica einsteiniana. La dottrina di Lorentz, partendo come si è detto dalla ipotesi di un'etere immobile, faceva prevedere la possibilità di mettere in evidenza il moto assoluto, sia per esempio il moto della terra rispetto all'etere che la circonda. Ma quando le esperienze di Michelson e Morley ebbero deluso queste aspettative teoriche, si immaginarono da Fitz-Gerald e da Lorentz stesso diverse ipotesi per spiegare come l'osservatore debba percepire le misure di spazio e di tempo, ridotte in guisa da rendere impossibile la constatazione di un moto traslatorio uniforme. Lo spazio ed il tempo *vero*, postulati dalla teoria come nella dinamica classica, si disegnavano così un puro fantasma trascendente dietro la realtà fenomenica d'uno spazio e d'un tempo *apparente*, che Einstein secondo lo spirito del positivismo critico, dovrà ritenere

come il vero spazio-tempo della fisica. La costruzione Einsteiniana è sviluppata in due dottrine successive: anzitutto colla teoria della relatività ristretta (1905-7) che porta l'idea assolutamente nuova della relatività del tempo e quindi la fusione delle forme spazio e tempo in un cronotopo o universo a quattro dimensioni; e poi nella teoria della relatività generale (1916), dove il cronotopo diventa uno spazio non euclideo la cui curvatura varia in funzione della materia. In questo quadro la dinamica viene fondata sopra una generalizzazione del principio d'inerzia, che porta qualcosa di diverso in confronto alla dinamica newtoniana, la quale appare esprimere soltanto un'approssimazione della nuova dottrina.

La correzione einsteiniana diventa sensibile già nel campo della Meccanica celeste per i termini secolari, e così per il perielio di Mercurio, di cui vale a spiegare la piccola anomalia. Ma essa assume importanza sempre maggiore per le grandi velocità, e quindi nello studio dei raggi costituiti dalla proiezione di corpuscoli (con velocità che si avvicinano a quella della *luce*), e più tardi nella descrizione del moto degli elettroni entro il campo atomico.

Le conferme che la teoria riceve dall'osservazione e dall'esperienza, se pur poche, sono assai significative; in ogni modo la fiducia che la teoria stessa ispira agli spiriti critici tiene in gran parte al fatto di soddisfare felicemente le esigenze razionali che restavano insoddisfatte dalla dinamica newtoniana; e di rappresentare in qual-

che modo una sintesi verso cui convergono diverse correnti del movimento scientifico moderno.

35) *Atomi e corpuscoli*⁸⁷.

Negli sviluppi della fisica, cui abbiamo accennato, giocano in maniera essenziale i concetti di atomo e di corpuscolo di elettricità.

La concezione atomistica, tramandataci dall'antichità e ripresa agli inizi della scienza moderna, aveva già as-

87 Fra le più belle esposizioni storiche delle nuove dottrine citiamo:

L. De Broglie, *La physique nouvelle et les quanta*, Paris, Flammarion, 1937.

– *Matière et lumière*, Paris, Michel, 1937.

H. Reichenbach, *Atomes et Cosmos*, Paris, Flammarion, 1934.

A. Einstein & L. Infeld, *The evolution of Physics*, Cambridge, 1938.

J. Jeans, *The New Background of Science*, Cambridge, 1933 (tr. fr.).

Trattazioni più tecniche dell'argomento trovansi in W. Heisenberg, *Die Physikalischen Principien der Quantentheorie*, Lipsia, 1930 (tr. fr., *Les principes de la Mécanique quantique*, Paris, 1932); P. M. Dirac, *Les principes de la Mécanique quantique*, Paris, 1931; E. Persico, *Fondamenti della Meccanica atomica*, Bologna, 1935.

Altri scritti di fisici aventi particolarmente significato filosofico saranno citati in seguito.

sunto con Dalton e Berzelius, al principio del secolo XIX, il valore di una teoria chimica precisa, atta a rappresentare la legge delle combinazioni per multipli di pesi semplici, ma aveva dovuto arrestarsi di fronte alla difficoltà di spiegare le combinazioni dei gas per multipli di volumi semplici, secondo la legge di Gay Lussac. Essa risorge tuttavia e si afferma da Cannizzaro e Kekulé nel 1860, superando codesta difficoltà col richiamare l'ipotesi di Avogadro e il suo concetto della molecola composta da un certo numero di atomi. Viene allora formata la tavola degli elementi (corpi chimicamente indecomposti) e Mendeleev scopre nella serie di questi che le proprietà fisico-chimiche sono funzioni periodiche del peso atomico (1868).

Nonostante tali progressi W. Ostwald nel Congresso dei Naturalisti tedeschi del 1895, faceva echeggiare il grido della bancarotta dell'atomismo. Il rigido positivista denunciava la vanità dell'ipotesi che gli appariva andare oltre i fatti che era chiamata a spiegare. Frattanto invece i fisici costruttivi stringevano sempre più d'appresso la realtà di codesta ipotesi. Ricordiamo in particolare il brillante successo delle misure delle dimensioni atomiche che Jean Perrin (1908) è riuscito a calcolare in base al movimento Browniano ed al teorema d'Einstein sull'equipartizione dell'energia. Codeste misure vengono a concordare mirabilmente con quelle fornite da metodi diversi, nello studio delle radiazioni.

L'idea di una struttura discontinua dell'elettricità e quindi dell'esistenza dei corpuscoli elettrici elementari,

si è presentata nello studio dei fenomeni elettrolitici fino da Helmholtz e quindi si è rivelata feconda soprattutto nello studio delle radiazioni.

La scoperta dei raggi Roentgen nel 1895 e poi delle radioattività dell'Uranio, che ha condotto i coniugi Curie all'isolamento del radio (1898), hanno aperto il campo ad un nuovo ed immenso capitolo della Fisica ed è in questa fisica delle radiazioni che si sono presentate le idee più radicalmente innovatrici della scienza moderna.

Il problema essenziale è quello dei rapporti fra materia e radiazione. Lorentz, colla sua teoria, ha tentato di rispondere a questo problema, mediante un'ardita estrapolazione delle leggi conosciute. Egli ha assunto l'ipotesi fondamentale della discontinuità del fluido elettrico e in particolare degli elettroni o grani di elettricità negativa, e, a prescindere da qualche modificazione che si affaccia naturale in quest'ordine di idee, ammetteva che le quantità microscopiche – campi, cariche, correnti – soddisfino ad equazioni della stessa forma che le equazioni macroscopiche di Maxwell. Egli è riuscito in tal guisa a rappresentare le stesse leggi di Maxwell come leggi statistiche esprimenti gli effetti di media che si osservano nella sovrapposizione di un gran numero di fenomeni microscopici elementari. L'elettromagnetismo di Maxwell appare pertanto come un elettromagnetismo grossolano, che manifesta l'aspetto statistico dell'elettromagnetismo fine di Lorenz.

Ma la dottrina così costruita, dopo avere condotto ad alcune previsioni brillantemente verificate (pensiamo

per esempio all'effetto Zeemann) si è urtata in difficoltà affatto imprevedute, che hanno portato all'introduzione di idee radicalmente nuove.

Secondo l'intuizione della Meccanica classica, l'energia, che si esprime in funzione di elementi spazio-temporali, è suscettibile di variare in modo continuo. Invece alla base della nuova fisica sta l'ipotesi paradossale di una struttura discontinua: ogni quantità di energia, emessa o assorbita per esempio dalle radiazioni di un atomo, è multipla di un certo *quanto* o unità elementare; il quanto si presenta come un prodotto $h\nu$, dove ν figura una certa frequenza relativa ai fenomeni periodici di cui si tratta ed h (riconosciuta sempre identica attraverso disparate esperienze) costituisce la *costante universale di Planck*.

L'idea dei quanti si è affacciata per la prima volta da Max Planck (1900) per spiegare la composizione spettrale del corpo nero, supplendo all'insuccesso della teoria di Lorentz. Accettata in senso più largo da Einstein nel 1905, codesta idea ha permesso quindi di dar ragione dell'effetto foto-elettrico, le cui circostanze si accordano bene coll'ipotesi di una struttura granulare della luce (*quanti di luce* o *fotoni*). Nonostante la difficoltà di conciliare questa ipotesi colla teoria delle onde di Huygens e Fresnel, che corrisponde ad altri aspetti del fenomeno luminoso, la veduta quantistica è riuscita felicemente a spiegare i risultati di esperienze nuove ed imprevedute. Diciamo, per esempio, l'effetto Compton relativo alla diffusione dei raggi X traverso la materia, ed

ancora le eccezioni alla legge di Dulong e Petit sul calore specifico molecolare ecc. Ma il più grande successo della nuova concezione si ha in quel corpo di dottrine che costituisce la fisica dell'atomo.

Superata la credenza tradizionale nella semplicità degli atomi, agli inizi del secolo si affacciava assai naturalmente l'idea che l'atomo offra un modello microscopico dei mondi, figurando come un sistema planetario in miniatura. Niels Bohr, che ha raccolto questa idea della scuola di Rutherford, è riuscito a realizzarla (1913) in una teoria atta a render conto, almeno approssimativamente, dei principali aspetti dei fenomeni delle radiazioni, la quale è stata poi perfezionata da Sommerfeld col-l'introduzione dei concetti relativistici (1916).

L'atomo di Bohr e di Sommerfeld viene figurato come un nucleo o protone, dotato di carica elettrica positiva, attorno a cui girano, come pianeti o satelliti, degli elettroni: si va da un elettrone nel caso dell'idrogeno, fino a 92 elettroni per l'elemento di peso atomico più alto. Il moto degli elettroni attorno al nucleo è governato dall'attrazione coulombiana (conforme alla dinamica di Newton), ma vi è una serie discreta di stati stazionari, i soli fisicamente realizzabili, che corrispondono alla quantificazione dell'energia; e le righe dello spettro dell'atomo vengono emesse quando l'atomo stesso subisce una transizione fra due stati stazionari.

Certo il modello indicato è difficile a concepire. La supposizione che, nello stato stazionario, l'elettrone mo-

bile nella sua orbita non irradia energia è così contrastante colle leggi del mondo macroscopico, come è repugnante coll'intuizione conforme alla meccanica classica l'ipotesi di una energia quantificata, per cui l'ellisse kepleriana che forma l'orbita anzidetta, non può variare per continuità, dovendo la sua area mantenersi multipla della costante di Planck. Ma se col suo autore si accetta il modello stesso in via provvisoria, come ipotesi di lavoro, esso getta viva luce sopra una massa di fenomeni inesplicati: dalle leggi di Balmer sulle righe dello spettro alle proprietà chimiche dei corpi, dando ragione della legge periodica di Mendeleev, delle trasmutazioni dell'atomo etc. Soltanto il progresso delle esperienze e l'esigenza di una spiegazione più raffinata hanno segnato il limite di validità di codesta meravigliosa teoria e condotto quindi ad una revisione critica dei suoi principi.

La revisione, che dà luogo alla *nuova meccanica quantistica*, si è compiuta per due vie diverse, che solo più tardi si sono mostrate convergenti in un solo corpo di dottrina: da una parte si ha la teoria delle onde di Louis De Broglie (1923-24) e di Erwin Schroedinger (1926), dall'altra la teoria delle matrici di Werner Heisenberg (1925), di Max Born e di Pasquale Jordan. L'ibrido connubio dei concetti classici e dei concetti quantistici, che Bohr aveva dovuto accogliere nella sua ipotesi di lavoro, spinge De Broglie ad una riforma radicale delle immagini adottate, valendosi di analogie con altri ordini di fenomeni, laddove invece consiglia ad Heisen-

berg di rifiutare qualsiasi ipotesi rappresentativa per fornire una descrizione positiva della realtà, strettamente aderente ai dati sperimentali.

Una veduta ondulatoria della materia (o degli elementi che entrano nella costituzione dell'atomo) viene suggerita anzitutto dall'analogia coll'ottica, ricordando che l'ottica geometrica appare una approssimazione dell'ottica fisica, quale si esprime appunto nella teoria delle onde. Siffatta veduta promette, d'altra parte, di conciliarsi coll'esigenza quantistica: l'intervento di numeri interi per caratterizzare gli stati stazionari degli elettroni atomici è a tale riguardo assai sintomatica; perchè, nota De Broglie, i numeri interi si incontrano, in effetto, nelle branche della fisica ove occorre di considerare le onde: nei fenomeni di onda stazionaria, d'interferenza e di risonanza. Tuttavia una rappresentazione ondulatoria della materia o dell'elettrone doveva incontrare le stesse difficoltà che s'incontrano nell'ottica dove si è già detto i fenomeni presentare anche un aspetto corpuscolare, che Einstein è riuscito a spiegare coll'introduzione dei fotoni. Così le onde luminose, e similmente quelle che De Broglie associa al moto di un elettrone, dovranno allontanarsi dal tipo intuitivo che ci è fornito dalle vibrazioni dei corpi elastici, per indicare soltanto una ripartizione di corpuscoli; esse verranno quindi ad assumere un significato probabilistico: l'intensità dell'onda misura la probabilità che ivi si trovi un corpuscolo. Sebbene la rappresentazione ondulatoria diventi così puramente simbolica (riducendosi ad una analogia matematica) la

teoria risponde mirabilmente alle apparenze fenomeniche che se ne deducono valutando gli effetti di media dei singoli eventi, cioè come legge statistica. Anzi essa lascia prevedere qualcosa che non era stato mai osservato prima: la diffrazione degli elettroni verificata dalle esperienze di Davisson e Germer, di G. P. Thomson e di Rupp.

Mentre De Broglie e Shroedinger sviluppavano, come si è detto, la meccanica quantistica sulla base di una rappresentazione ondulatoria dei fenomeni, Heisenberg ispirandosi al concetto positivisticò si proponeva di eliminare dalla teoria di Bohr ogni dato ipotetico, attinente all'orbita degli elettroni, per assumere nella sua descrizione matematica dei fatti soltanto i dati immediati delle osservazioni e delle esperienze: amplitudini e fasi in luogo delle coordinate variabili di corpuscoli. L'insieme di questi dati viene figurato dall'Autore e dai fisici che accanto a lui hanno lavorato alla sviluppo della teoria, con una matrice, e dal calcolo di tali matrici si desumono gli effetti di media che rispondono ai fenomeni osservabili.

La teoria sviluppata in tal guisa coincide colla teoria ondulatoria, siccome Schroedinger ha mostrato nel 1926. Completata dal concetto del momento magnetico dell'elettrone rotante, che si deve a Dirac, questa teoria riesce alla migliore rappresentazione unificata di un imponente numero di fatti, e costituisce il punto più alto raggiunto oggi dalla fisica dell'atomo; di fronte ad essa

l'antica teoria di Bohr e Sommerfeld figura soltanto come un grado di approssimazione, che esige di essere corretto per render conto dei fenomeni più raffinati. Ma giova esaminare a che prezzo si sia conseguito questo progresso, e quale sia il significato della nuova dottrina, specialmente nei riguardi del determinismo.

36) I fenomeni elementari della fisica quantistica.

La vecchia teoria cinetica dei gas o la teoria elettromagnetica di Lorentz, al pari della nuova meccanica quantistica, fornivano leggi statistiche descrittive l'aspetto globale dei fenomeni e giustificavano quindi aspettative, non mai rigorosamente necessarie, ma soltanto dotate di una forte probabilità. Però i fenomeni elementari di cui in tal guisa si descrivevano le medie, erano sempre supposti soddisfare a leggi precise che ne riflettevano il determinismo. Ora invece la meccanica quantistica imprende a descrivere gli effetti di media di fenomeni che non si sa affatto se accadano secondo leggi determinate. Anzi si fa giocare questa indeterminazione come un elemento essenziale della teoria; almeno in questo senso che: nell'ordine d'approssimazione in cui occorre di correggere la teoria di Bohr e Sommerfeld, non è più lecito raffigurarsi l'elettrone mobile sopra una

determinata orbita kepleriana, ma convien tener conto di più orbite possibili, come se la descrizione di un'orbita piuttosto che di un'altra sia il risultato di un caso apprezzabile soltanto come probabilità.

In altri termini: pensando i fenomeni elementari come suscettibili di una descrizione spazio-temporale, le cose vanno come se essi sieno sottratti ad ogni rigido determinismo. Pur soggiacendo al caso questi fenomeni elementari obbedirebbero tuttavia alla legge dei grandi numeri su cui si basa l'applicazione del calcolo delle probabilità; ed in conseguenza di ciò darebbero luogo a leggi statistiche, che riflettono l'aspetto della realtà macroscopica, e ne giustificherebbero il determinismo apparente. Ognun vede la radicale rivoluzione che in tal guisa si vuole portare nelle nostre idee filosofiche. Secondo le vecchie idee, il caso figura soltanto come ignoranza di cause complesse e variabili in un vasto insieme di fenomeni soggetti ad un determinismo assoluto; e le stesse leggi del calcolo delle probabilità si giustificano sulla base del principio di causalità o di ragion sufficiente, ammettendo a priori che là dove le cause presentino una certa simmetria (si pensi, per esempio, alle sei facce di un dado) anche l'insieme degli effetti debba rivelare la medesima simmetria (approssimativa eguaglianza di casi nel lancio del dado). Invece secondo alcuni teorici della nuova fisica, il caso, il fortuito, l'individuale senza legge, sarebbe il costituente ultimo della realtà, e tuttavia varrebbe per questo mondo fortuito la legge dei grandi numeri, che a sua volta diverrebbe il fondamento

delle regolarità statistiche e quindi della legalità che si trova verificata alla nostra scala nella realtà macroscopica.

Fino a che punto queste idee sono ricevibili? ed in quale misura conseguono dalla meccanica quantistica e dalle esperienze che in questa si esprimono?

Per approfondire la questione conviene esaminare particolarmente il significato del supposto indeterminismo, quale si rivela in ispecie nelle «relazioni d'incertezza» di Heisenberg.

37) Relazioni d'incertezza di Heisenberg.

Abbiamo detto che Heisenberg fonda la sua costruzione della meccanica quantistica sopra un criterio positivistico. Secondo questo criterio egli ritiene logicamente che il determinismo di un fenomeno consista nella possibilità della previsione sperimentale. Ora per prevedere il moto futuro di un elettrone (e così dar senso positivo alla nozione della sua orbita) occorrerebbe conoscere in un dato istante la posizione e la velocità del corpuscolo. Ma un esame approfondito delle esperienze possibili porta a riconoscere che queste due quantità complementari non possono mai determinarsi entrambe con una precisione che discenda al disotto di un dato limite: gli errori nella determinazione dell'una e dell'altra

sono reciproci, cioè il loro prodotto resta necessariamente superiore ad una costante fissa, proporzionale alla costante di Planck.

Le relazioni d'incertezza che esprimono il limite di osservabilità simultanea dei dati complementari (posizione e velocità) si possono spiegare in rapporto al perturbamento che l'azione stessa dell'osservatore induce nel fenomeno osservato, e tengono del resto al doppio aspetto della realtà secondo l'interpretazione dei corpuscoli e delle onde.

Se ci sforziamo di *vedere* un elettrone, in una data posizione, dobbiamo valerci di un'onda luminosa che porti un fotone, e quanto più precisamente vuoi si fissare la posizione, tanto più corta deve essere la lunghezza dell'onda luminosa e quindi tanto maggiore l'intensità dell'urto dell'elettrone col fotone che lasciamo cadere su di esso; cosicchè la velocità del moto che vuoi si osservare ne risulterà perturbata, in ragione inversa all'errore della posizione.

Se si suppone data un'onda monocromatica che si propaghi in una certa direzione con velocità costante, possiamo cercare di fissare la posizione di un elettrone da essa portato, interponendo uno schermo perpendicolare alle traiettorie degli elettroni, nel quale si pratici un piccolo foro. La posizione dell'elettrone resta fissata nell'istante in cui passa pel foro, con un errore proporzionale all'ampiezza del foro stesso. Ma interviene qui la diffrazione dell'elettrone, tanto più forte quanto mino-

re è l'ampiezza del foro indicato, e quindi viene perturbata la velocità che si supponeva data a priori.

Ragionamenti di questo genere conducono Heisenberg alla conclusione che: nell'osservazione o nella determinazione sperimentale dei dati relativi alla posizione ed allo stato dinamico di un elettrone, intervengono quantità complementari, che non possono essere simultaneamente determinate con un'approssimazione grande quanto si vuole: il prodotto delle approssimazioni raggiungibili resta superiore ad un limite teorico che è dato dalla costante di Planck.

Secondo il criterio positivisticò l'impossibilità di determinare, in un certo ordine di approssimazione, la posizione e la velocità di un corpuscolo toglie ogni significato all'*ipotesi* di codeste quantità, da cui dipende la previsione del moto secondo le idee della meccanica classica. Ma su ciò è lecito sollevare un dubbio; se vogliamo misurare con un metro la lunghezza di un filo, bisogna tenderlo ed allora il filo si allunga; la determinazione della misura cercata viene turbata dall'azione stessa del misurare; nondimeno si può fare l'*ipotesi* di una misura esatta e questa può condurre, in rapporto a diversi scopi, a risultati plausibili.

Heisenberg ed i fisici che con lui ammettono le relazioni d'incertezza hanno dovuto certamente esaminare questo punto delicato, e non senza profonde ragioni sono stati condotti ad eliminare il dubbio e ad affermare il significato intrinseco del limite stabilito. Da parte nostra cerchiamo di spiegarci la cosa.

Le circostanze che rendono impossibile la determinazione simultanea delle quantità complementari rispecchiano il contenuto fenomenico della teoria e così l'ipotesi di codesta determinazione (con approssimazione superiore al limite anzidetto) verrebbe a contraddire alla teoria stessa. Ma ciò implicherebbe anche una contraddizione con diversi ordini di fatti.

Un esempio caratteristico si può trarre dai gas di elettroni, le cui proprietà vengono bene rappresentate dalla statistica di Fermi-Dirac, basata sul principio di esclusione di Pauli. Secondo questo principio si deve ammettere che due elettroni non possano avere la medesima velocità. Ma com'è possibile concepire che il trovarsi di un elettrone in un certo stato dinamico impedisca ad un altro elettrone lontano di muoversi nello stesso modo?

La contraddizione è tolta per chi vede nelle relazioni di incertezza una impossibilità intrinseca di dare significato al valore esatto delle quantità complementari. Secondo la teoria ogni elettrone è portato da un'onda; ma se si dà la velocità del moto del corpuscolo la sua posizione resta affatto indeterminata, come se esso riempia l'intero spazio occupato dal gas.

38) *Le interpretazioni dei fisici: Heisenberg, Bohr, Schroedinger, Dirac, Eddington.*

Dopo aver riconosciuto il significato intrinseco che hanno, nella meccanica quantistica, le relazioni di incertezza di Heisenberg, richiamiamo le interpretazioni che ne danno i principali autori delle nuove dottrine.

Heisenberg, in coerenza al suo atteggiamento sopra definito, ne giudica secondo il criterio positivistico: «supporre che dietro l'universo statistico percepito si nasconda un altro universo *vero*, per cui varrebbe il principio di causalità, una speculazione di questo genere ci sembra, vogliamo affermarlo espressamente, sterile e priva di senso. La fisica deve limitarsi a ciò che è percepito»⁸⁸. «La nostra usuale descrizione della natura, – dice ancora⁸⁹ – ed in particolare l'idea di una rigorosa legalità (*Gesetzmaessigkeit*) nei processi fisici, riposa sul presupposto che sia possibile di osservare i fenomeni senza modificarli sensibilmente. Subordinare una determinata azione ad una determinata causa, ha un senso solo se possiamo osservare azioni e cause senza perturbare il processo. Perciò è nella natura del principio di causa, nella sua forma classica, che esso sia definito soltanto per sistemi chiusi di fenomeni. Ma in generale nel-

⁸⁸ *Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*, Zeitschrift fuer Physik, 1927.

⁸⁹ *Die physikalischen Principien der Quantentheorie*, Lipsia, 1930, pag. 48.

la fisica dell'atomo ad ogni osservazione si connette una perturbazione finita, fino ad un certo grado non controllabile, come doveva aspettarsi a priori in una teoria basata sulla ipotesi di piccole unità. Siccome d'altra parte ogni descrizione spazio-temporale di un processo fisico è condizionata dalla osservazione, ne segue che la descrizione spazio-temporale da una parte ed il classico principio di causa dall'altra, rispondono ad aspetti complementari della realtà, che si escludono a vicenda».

Qui si ritrova ancora il pensiero del positivista che ritiene le leggi della natura semplicemente come successioni costanti di fenomeni quantitativamente definiti da esperienze di misura, e perciò non può attribuire *alcun senso* all'idea di *leggi rigorose*. Inoltre vi troviamo espresso il risultato della veduta teorica conseguita nella fisica microscopica che pone la dualità dei due aspetti complementari: corpuscoli e onde.

Ma Bohr che ha approfondito la nozione di questa dualità, sembra conferirle un significato che oltrepassa la pura veduta positivista. Dice⁹⁰: «La vera natura della teoria dei quanti ci forza a riguardare la coordinazione spazio-temporale e la richiesta della causalità, la cui unione caratterizza le teorie classiche, come creazioni (features) complementari ed esclusive della descrizione che simbolizza l'idealizzazione dell'osservazione e rispettivamente della definizione (della realtà)».

⁹⁰ *Atomie Theory and the Description of Nature*, Cambridge, 1934 (pag. 54).

I due aspetti complementari della realtà sono, per l'eminente pensatore, due facce di essa entrambe essenziali, ma di cui ciascuna nasconde l'altra. Così l'esigenza intuitiva di una descrizione spazio-temporale e quella di una rigorosa causalità vengono poste sullo stesso piano. «L'indeterminazione fondamentale che incontriamo (nella meccanica quantistica)... deve essere considerata come l'espressione dell'assoluta limitazione nella applicazione dei concetti visualizzati con cui imprendiamo a descriversi i fenomeni atomici; la quale limitazione si manifesta nell'apparente dilemma che si presenta nella questione della natura della materia»⁹¹.

In conseguenza ci pare che anche il problema della causalità venga a porsi di nuovo in termini sostanzialmente metafisici. «La scoperta del quanto d'azione... ci conduce ad una situazione finora assolutamente sconosciuta nella scienza naturale, gettando nuova luce sul vecchio problema filosofico, dell'esistenza obiettiva dei fenomeni indipendente dalle nostre osservazioni»⁹².

«Il limite che la natura ha posto a noi per ciò che concerne la possibilità di parlare di fenomeni come esistenti obiettivamente, per quanto possiamo giudicarne, trova la sua espressione propria nella formulazione della meccanica dei quanti»⁹³.

«Possiamo dire che la scoperta di Planck ha portato a riconoscere che l'adeguatezza del nostro consueto atteggiamento

91 Op. cit., pag. 115.

92 Op. cit., pag. 115.

93 Ibidem, pag. 115.

giamento, caratterizzato dalla domanda della causalità, dipende soltanto dalla piccolezza del quanto d'azione in confronto con le azioni che entrano in giuoco nei fenomeni ordinari»⁹⁴.

Questa circostanza «ci costringe ad usare nei nostri mezzi di espressione cautele simili a quelle che sono necessarie nei problemi psicologici, dove incontriamo ad ogni momento la difficoltà di segnare il contenuto obiettivo dei fenomeni»⁹⁵.

L'Autore viene quindi a segnalare il parallelismo fra la discussione rinnovata sul problema della causalità e l'antico problema del libero arbitrio. Causalità e libero arbitrio gli appaiono esigenze complementari della comprensione umana.

Infine le vedute inaspettatamente affacciatesi nella fisica dei quanti, gli sembrano gettar luce sui fenomeni della vita. In alcune circostanze la mutua azione fra l'organismo ed il mondo esterno dipende da elementi piccoli come i quanti; per esempio la visione tiene all'incontro dell'occhio con pochi fotoni. In generale il dinamismo biologico non esige tale raffinamento, ma se si tocca ai problemi biologici più profondi, come la libertà e l'adattamento dell'organismo a stimoli esterni, ci dobbiamo attendere di dover prendere in considerazione le stesse condizioni che implicano un limite della causalità⁹⁶.

94 Op. cit., pag. 116.

95 Ibidem, pag. 116.

96 Op. cit., pag. 117.

A queste idee, suggestive se pur discutibili, vediamo associarsi un senso romantico della vita nel pensiero di un altro illustre scienziato. Arthur Eddington, l'astronomo che descrivendo il divenire dei mondi ha saputo esprimere al più alto grado la poesia della scienza, si compiace esplicitamente che la visione dell'universo aperta dai progressi della fisica venga a liberarci da un determinismo repugnante al sentimento profondo della spontaneità di chi vive ed agisce. Per lui l'indeterminismo non è una ipotesi positiva; è soltanto un rifiuto di accettare un'ipotesi sia pure «non infirmabile», ma affatto arbitraria come sarebbe quella che la Luna è fatta di formaggio Roquefort.

«Des hypothèses de cette sorte... peuvent être inventées à volonté»⁹⁷.

Nel suo libro su «La natura del mondo psichico» Eddington dice ancora⁹⁸: «On pourra peut être dire, comme conclusion à tirer de ces arguments fournis par la science moderne, que la religion est devenue acceptable pour un esprit scientifique raisonnable à partir de 1927... Si notre prévision se confirme que 1927 aura vu l'élimination définitive de la causalité stricte par Heisenberg, Bohr, Born et d'autres, cette année représentera certainement l'une des plus grandes époques dans le développement de la pensée scientifique».

⁹⁷ *Sur le problème du déterminisme*, Hermann, Paris, 1934 (pag. 18).

⁹⁸ In Langevin, *La notion de corpuscules et d'atomes*, pag. 33-34.

Come illustrazione scientifica delle idee di Eddington vale ciò che egli dice della radioattività, dove vede riflettersi la radicale indeterminazione dei processi fisici elementari. Per un corpo radioattivo c'è una certa regolarità statistica, in base a cui possiamo dire, per esempio, in quanti anni il corpo avrà perduto la metà del proprio peso. Si può prevedere che un certo numero di atomi esploderanno in un dato tempo; ma non è possibile trovare alcuna caratteristica che valga a distinguere *oggi* l'atomo che esploderà nel 1960 da quello che esploderà nell'anno 150.000⁹⁹.

D'altronde simili tesi sono lungi all'essere ritenute assurde e impossibili anche da pensatori che rimangono più strettamente nell'orbita della scienza. Riferiamo, per esempio, il pensiero di Schroedinger tanto più notevole che questi non sembra appagarsi di una rigida veduta positivista.

«Seguendo Kirchoff – egli dice¹⁰⁰ – noi ci siamo abituati ad ammettere che la scienza non debba concernere, in ultima analisi, nient'altro che la precisa coscienziosa descrizione di ciò che viene percepito dai sensi. Il precetto dell'eminente teorico... racchiude certo una buona parte di verità sotto l'aspetto epistemologico; ma non è in accordo colla *psicologia* della ricerca, perchè nessuno attacca un vero interesse alle leggi concepite come rap-

⁹⁹ *Sur le problème du déterminisme*, op. cit., pag. 17.

¹⁰⁰ *Science and the human Temperament*, Londra, 1935, pag. 75.

porti contingenti di puro fatto fra le misure dei dati che s'incontrano nelle esperienze».

Per quel che concerne la questione della causalità Schroedinger propone il dilemma: «Si può formarsi l'opinione che la reale essenza o l'intrinseca costituzione delle leggi della Natura sia esaustivamente scoperta colla rivelazione del loro carattere statistico e per conseguenza che l'idea di una necessaria connessione causale tra i dati della fisica debba essere bandita dalla nostra pittura del mondo... Saremo specialmente inclini a sacrificare il principio causale se seguiamo Hume nel riconoscimento che esso non è una fattura necessaria del nostro pensiero, ma solo un abito generato dalla osservazione e dalla regolarità che essa ci presenta, e di cui si è ora chiarito il carattere meramente statistico.

Se, all'incontro, noi dissentiamo da Hume e riteniamo che il principio causale sia qualcosa *a priori* che costituisca un elemento necessario del nostro pensiero e contrassegni inevitabilmente ogni esperienza possibile, allora bisogna adottare la seconda alternativa cioè ammettere che il comportamento di un atomo in ogni singolo evento sia determinato dalla rigida causalità... Da questo punto di vista la causalità si troverà alla base delle leggi statistiche che si rivelano nei fenomeni di massa».

Schroedinger ricorda¹⁰¹ che Franz Exner, della scuola di Vienna, cui egli stesso si sente personalmente indebitato, ebbe già a menzionare la possibilità e l'ammissibi-

101 Cfr. op. cit., pag. 15.

lità di un concetto acausale della Natura; questa idea è stata da lui espressa in una serie di letture pubblicate nel 1919. «L'affermazione di Exner si riduce a questo: È possibile che le leggi della Natura sieno essenzialmente di carattere statistico. La domanda che leggi di siffatto tipo abbiano come fondamento leggi naturale assolute... *va al di là dei limiti dell'esperienza*. Una siffatta dualità di fondamenti per il corso degli eventi della Natura è in se stessa improbabile. *In ogni caso l'onere della prova spetta ai campioni di un assoluto determinismo* e non a coloro che lo mettono in questione»¹⁰².

Schroedinger stesso aveva accettato questa veduta filosofica di Exner, prima di partecipare alla costruzione della teoria delle onde, in un momento in cui sembra ancor professasse uno stretto positivismo, perchè in una conferenza tenuta a Zurigo nel 1922¹⁰³ dichiarava che l'assunzione di una rigorosa legge causale può aver senso soltanto per riguardo ad un mondo di inosservabili e perciò sembra appartenere ad un residuo della mentalità primitiva del genere umano.

Infine anche Dirac, che ha portato un magnifico contributo al più perfetto edificio della meccanica quantistica, non esita ad associarsi agli indeterministi. In una conferenza di Bruxelles del 1927 dice¹⁰⁴: «A certains moments la nature fait un choix»; e s'intende una scelta

102 Op. cit., pag. 117-18.

103 In Jeans, op. cit., pag. 44.

104 *Was ist ein Naturgesetz?* in Frank, *Das Kausalgesetz und seine Grenzen*, Springer, Vienna, 1932, pag. 246.

nei limiti dell'indeterminazione portata dal quanto. E nella «Quantum Mechanics» del 1930 spiega¹⁰⁵: «Quando una certa osservazione vien fatta su di un sistema atomico preparato in un dato modo, e che perciò è in un dato stato, il risultato non è generalmente determinato, cosicchè se l'esperimento viene ripetuto un certo numero di volte nelle identiche condizioni, possono essere ottenuti risultati diversi».

39) Opinioni in senso opposto di Planck, Einstein, Langevin.

Di fronte ai fisici che sono disposti ad accogliere senza repugnanza l'indeterminismo, altri all'opposto affermano l'idea deterministica; fra questi i grandi iniziatori delle nuove dottrine: Max Planck, Albert Einstein, Paul Langevin.

Planck non è solo il grande fisico a cui la scienza deve idee e scoperte fondamentali, sì anche il vigoroso teorico della conoscenza scientifica che, in opposizione al Mach ed al Kirchoff, ha sostenuto la scienza dover andar oltre la veduta positivistica. In una serie di conferenze riunite in volume¹⁰⁶, troviamo espresso lucidamen-

105 In Langevin, op. cit., pag. 33.

106 *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Lipsia, 1933.

te il suo pensiero sulle questioni che formano oggetto del nostro studio.

L'autore afferma anzitutto che scopo della scienza è la conquista di una concezione unificata della realtà; questo progresso, egli dice, si raggiunge integrando le visioni metodiche parziali che tengono alla descrizione puramente fenomenica ed all'ipotesi generalizzatrice. Anche nella scienza rigorosa, come nella poesia e nell'arte, giuoca la libera costruzione d'immagini; perfino l'affermazione d'un fatto come quello che la luce percorre la via *più breve*, implica un paragone implicito con luci non vedute.

Per quel che concerne il principio di causa, che importa la connessione dei fenomeni secondo le leggi nel corso del tempo, il nostro autore si chiede se tenga alla natura delle cose ovvero sia prodotto, tutto o in parte, dalla forza immaginativa. Egli ha imparato da Hume che non si tratta di una necessità logica del pensiero e dalla dottrina di Kant (purificata da un residuo di dogmatismo) trae il concetto critico che vi è espressa la regola interpretativa dell'esperienza (Erfahrungmaessige) che lega la successione delle singole sensazioni¹⁰⁷. Anzi, approfondendo l'esame, giunge a riconoscere che lo stesso principio costituisce il criterio fondamentale in base a cui costruiamo il concetto della realtà, distinguendo il sogno da ciò che è obiettivo; poichè con soli mezzi logici non si supera il solipsismo.

107 Op. cit., pag. 96.

Nel capitolo intitolato «Die Kausalität in der Natur», che riproduce una conferenza tenuta alla Società Fisica di Londra nel 1932¹⁰⁸ Planck esamina più particolarmente il problema della causalità nei riguardi della fisica recente. Dopo avere esposto le nuove dottrine e in particolare le relazioni di incertezza di Heisenberg, così le commenta: «L'impossibilità di dare risposta a una domanda senza senso non può naturalmente toccare il principio di causalità, ma solo i presupposti che hanno condotto a porre la domanda, cioè, in questo caso, la presupposta struttura della rappresentazione cosmica: (Weltbild)»¹⁰⁹, che risponde alla teoria delle onde portatrici di corpuscoli.

Il giudizio conclusivo dell'autore sul significato della nuova meccanica quantistica viene così espresso¹¹⁰:

«La probabilità è il tema più alto raggiunto dalla Fisica; ma non credo che anche in ogni futuro si sarà paghi con questa posizione del problema. Il principio di causalità non può essere dimostrato vero o falso, ma è un principio euristico, un Wegmeister, e secondo me quello di più alto valore».

Anche il preteso contrasto del determinismo scientifico col concetto della libertà umana viene valutato con consapevolezza critica dallo scienziato-filosofo¹¹¹. Il concetto della libertà umana significa che l'uomo si sen-

108 Op. cit., pag. 232.

109 Op. cit., pag. 246.

110 Op. cit., pag. 259.

111 Op. cit., pag. 257.

te interamente libero e che, se è il caso, lui solo può saperlo. Non è contraddittorio che i motivi del suo volere possano essere conosciuti da uno spirito idealmente perfetto, se non si riduce questo spirito ideale alla misura della nostra intelligenza.

Chi tiene presente lo spirito secondo cui ha costruito la teoria della relatività ed il forte sentimento che ivi si palesa della ragion sufficiente, deve aspettarsi da Einstein giudizi che si accordino coi precedenti. E anzitutto constatiamo che Einstein è altamente consapevole di ciò che nella scienza va oltre il suo contenuto positivo. Dice¹¹²: «La scienza non è una semplice collezione di fatti senza reazione. Essa è una creazione della mente umana che liberamente inventa idee e concetti...

«Senza la credenza che sia possibile afferrare la Natura colle nostre costruzioni teoriche, senza la credenza nell'interna armonia del nostro mondo, non ci può essere scienza. Questa credenza rimane il motivo fondamentale di ogni creazione scientifica».

Intorno al determinismo esplicitamente dichiara¹¹³: «Le non-déterminisme est un concept tout à fait illogique... dire que la durée de vie moyenne de tel atome est indéterminée dans le sens qu'elle n'ait pas de cause, c'est

112 Cfr. A. Einstein & L. Infeld, *The Evolution of Physics*, Cambridge, 1938, 310, 312.

113 In J. James, op. cit., pag. 228-29. *Les nouvelles bases philosophiques de la science*, trad. fr. par Lalande, Paris, Hermann, pag. 233-34.

un non-sens... La loi qui régit les événements naturels est bien plus rigoureuse et bien plus étroite que nous ne l'imaginons aujourd'hui, quand nous disons d'un événement qu'il est la cause d'un autre. Ici, notre concept se limite à un événement *unique*, produit dans une section unique du temps. Il est séparé du processus total. Le procédé grossier qui nous sert aujourd'hui dans l'application du principe de causalité est tout à fait superficiel... La physique des quanta nous met en présence d'opérations très compliquées. Pour en venir à bout il nous faut étendre et réviser notre notion de la causalité».

La revisione indicata, a cui danno occasione i nuovi sviluppi della fisica, è in stretto rapporto con la veduta della solidarietà del reale, da cui l'ipotesi meccanica ritiene di potere astrarre in una certa misura.

Langevin, scienziato e pensatore, si pronunzia del pari nel medesimo senso¹¹⁴:

«On est parti (des relations d'indétermination de Heisenberg)... pour proclamer la faillite du déterminisme, pour affirmer que les corpuscules de toute nature n'ont pas un mouvement déterminé, puisqu'il est impossible de définir expérimentalement au même instant la position et la vitesse ou la quantité de mouvement d'un corpuscule quelconque. Au nom du principe d'indétermination on s'est livré à toute une variété de dévergondages

114 *La notion de corpuscules et d'atomes*, Paris, Hermann, 1934, pag. 33, 35.

intellectuels en parlant d'un libre arbitre des corpuscules, d'un libre choix de la nature... Pourquoi ne pas admettre, plutôt, que notre conception corpusculaire est inadéquate, qu'il n'est pas possible de représenter le monde intra-atomique en extrapolant jusqu'à l'extrême limite notre conception macroscopique du mobile? Du fait que la nature ne répond pas de façon précise quand nous lui posons une question concernant le mobile corpusculaire, c'est beaucoup de prétention de notre part de conclure: il n'y a pas de déterminisme dans la nature. Il est plus simple de dire: c'est que la question est mal posée, et que la nature ne connaît pas de mobile corpusculaire».

Vedremo più avanti il senso preciso della soluzione che l'autore propone del problema fisico.

40) La causalità non risultato scientifico ma problema filosofico.

La circostanza che diversi fisici, pure accordandosi nelle nuove dottrine ne diano interpretazioni contrastanti, indica già, se ve ne sia bisogno, che il problema del determinismo, che costituisce il punto del dissenso, non è affatto un problema scientifico, bensì un problema filosofico, quale sempre è stato ritenuto nel passato. Ma per quei cultori della fisica che fanno della filosofia sen-

za saperlo, ciò può essere utilmente spiegato. Le simpatie che in questi circoli incontra la soluzione indeterministica, si spiegano colle influenze filosofiche che, inconsapevolmente, si sono esercitate sopra di loro. La più forte è l'influenza del positivismo (attraverso Mach e Kirkhoff se non direttamente da Hume e Comte). L'idea espressa da Exner nella scuola di Vienna, quasi vent'anni or sono, è il conseguente logico di codesto atteggiamento del pensiero, e perciò si collega strettamente alle vedute che abbiamo ravvisate in Mach e in Poincaré, ma, soprattutto in Pearson, cultore di quelle dottrine statistiche e probabilistiche cui i nuovi fisici hanno attinto l'istrumento dei loro studi¹¹⁵.

Del resto, per giustificare un'influenza filosofica non importa provare che questa si sia esercitata mediante un contatto diretto coi pensatori da cui proviene. Poichè l'ammissibilità di un concetto acausale della Natura trovasi già affermata prima della costruzione della nuova fisica, ed in questo concetto convergono diversi motivi – positivistici, pragmatistici, romantici – è difficile ritenere che il concetto stesso sia semplicemente un risultato del progresso della scienza. I materialisti della metà del secolo scorso pretendevano, allo stesso modo, che la loro dottrina conseguisse dei risultati della scienza contemporanea, senza influsso della corrente storica di pensiero che va da Democrito ai nostri giorni; ed è noto

115 Cfr. F. Enriques, *Il determinismo e la fisica quantistica nel Congresso fiorentino della Mathesis*, in «Periodico di Matematiche», marzo 1930.

come Alberto Lange abbia mostrato la vanità di tale pretesa.

Per rappresentarci l'evoluzione del pensiero dei giovani fisici, bisogna tener conto del significato rivoluzionario che ha avuto per essi la teoria della relatività di Einstein. Se in questa dottrina si vede soltanto l'aspetto superficiale, cioè la tesi del valore empirico della geometria già affermata dai primi geometri non-euclidei, la logica della rivoluzione porta a spingere più avanti l'empirismo e così a negare qualunque principio a priori che voglia sottrarsi al giudizio dell'esperienza.

Ciò che in siffatti principii sembri tenere ad una necessità del pensiero si spiegherà, secondo il criterio di Hume e di Condillac, come effetto di abitudine, e perciò come risultato delle ripetute esperienze più familiari, senza che si affacci l'idea di una possibile dipendenza dalla struttura congenita dell'organo stesso del pensiero.

41) *La questione del determinismo per i neo-positivisti.*

Cerchiamo di riassumere e di chiarire le diverse posizioni filosofiche in ordine al problema di definire il significato del determinismo scientifico.

Anzitutto, abbiamo detto, la *concezione positivista della scienza*, come pura descrizione dei fenomeni, por-

ta soltanto a considerare leggi naturali approssimate, che dan luogo ad aspettative probabili; secondo questa veduta *non ha senso parlare di un determinismo rigoroso*.

Perciò non deve far meraviglia che neo-positivisti, quali sono i filosofi della cosiddetta scuola di Vienna, siano disposti a far buon mercato del principio di causalità, accettando l'indeterminismo o l'adeterminismo che ritengono soltanto illustrato (o precisato) dai recenti sviluppi della fisica. Dice Hans Reichenbach¹¹⁶:

«Qu'il y ait crise réelle du causalisme c'est seulement aujourd'hui qu'on peut l'affirmer, car en physique même se nourrit le doute au sujet de la prédetermination rigoureuse de tout le devenir naturel et... il a conduit, justement en mécanique subatomique, à renoncer résolument aux conceptions causalistes. Cependant, cette conquête de la mécanique des quanta n'est pas si nouvelle qu'elle semblerait; car quiconque a suivi de près le développement de la physique au siècle dernier, a pu remarquer qu'y était déjà accompli tout le travail conceptuel préliminaire de la phase nouvelle, qui n'est du reste, que la dernière d'une ligne évolutive conséquente»¹¹⁷.

È nella logica del positivismo che la rinuncia ad una rigorosa causalità non significhi nulla più che l'impossibilità di conferire a tale ipotesi un senso positivo, raffi-

116 *Atomes et Cosmos*, Paris, Flammarion, 1934, pag. 249.

117 Una tesi assai simile è sostenuta da Moritz Schlick, *Die Kausalität in der gegenwertigen Physik* («Naturwissenschaften», 1931): la causalità è un criterio direttivo dell'intelletto che si adatta alla realtà solo entro certi limiti riconoscibili coll'esperienza.

nando oltre ogni limite le misure dei dati sperimentali e le previsioni che vi si fondano. Philip Frank, che appartiene similmente alla scuola di Vienna, discute a lungo la questione nel suo libro «Das Kausalgesetz und seine Grenze»¹¹⁸ per chiarire che il non-determinismo della nuova fisica non deve interpretarsi secondo lo spirito mistico, teologico, animistico, vitalistico, che ognora tende a riaffacciarsi anche nelle scienze della Natura, ma soltanto come un limite dell'esperienza effettivamente praticabile.

Il significato della causalità nel senso del positivismo viene da lui lucidamente esposto. Si tratta dell'affermazione che ad ogni stato A debba seguire immancabilmente un certo stato B e quindi che a stati uguali debbano succedere stati uguali. Ma se lo stato A si riferisce all'intero universo bisognerebbe ammettere che il processo cosmico abbia un carattere ciclico, per modo che lo stato A venga successivamente ripetuto; e questa ipotesi, oltre che improbabile di per sè, non è in ogni caso applicabile.

Bisogna dunque limitarsi a considerare porzioni convenientemente limitate della realtà, per le quali un medesimo stato A possa ripetersi. Ma come definire un tale stato? E come accertare i dati dell'osservazione o dell'esperienza da cui dipende l'applicazione del principio, cioè la previsione che esso comporta? A tale uopo, è chiaro, occorre tradurre le relazioni che i fenomeni del

118 Vienna, Springer, 1932.

campo delimitato come sopra possono avere con altri corpi; e non si è mai sicuri che le relazioni introdotte sieno sufficienti.

Se si porta questo criterio alle ultime conclusioni, si è condotti a dire che la definizione esatta dell'eguaglianza di due stati implica anche l'eguaglianza degli stati successivi e quindi *il principio di causa trascorre in una tautologia*¹¹⁹.

In conclusione il determinismo, inteso in senso positivo, non può significare che l'esistenza di leggi approssimate che danno luogo soltanto ad aspettative probabili. E questa conclusione si giustifica per l'autore anche indipendentemente dagli sviluppi della nuova fisica. A tale riguardo egli¹²⁰ richiama le opinioni di Schroedinger del 1921, che abbiamo già avuto occasione di citare.

42) *Il determinismo come presupposto della scienza.*

Se il principio di causalità non importa la conoscenza di alcun fatto o legge della Natura, effettivamente controllabile dall'esperienza, resta tuttavia da esaminare se possa dirsi che sia, anzichè un risultato, un presupposto della scienza.

119 Cfr. op. cit., Cap. V, VI, VII, VIII, IX, in ispecie pag. 240.

120 Op. cit., pag. 246.

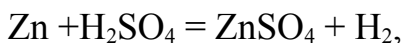
Questa tesi che si ricollega alla critica di Kant è tuttavia suscettibile di ricevere più sensi che occorre dilucidare. Il dilemma che si ponga fra la possibilità di una scienza fondata sul concetto di causa e la sua impossibilità (l'impossibilità di comprendere scientificamente il fortuito) non può essere deciso dall'esistenza di una scienza fatta (come pur credeva Kant), se questa non sia, come chiaramente non può essere, una scienza ideale assolutamente perfetta.

L'approssimazione delle leggi naturali nella scienza fatta, di cui si ritenga soltanto il contenuto positivo, proviene, non solo dall'errore che necessariamente si connette ad ogni misura o valutazione sperimentale, sì anche dalla necessità di astrarre da infinite cause perturbatrici che esercitano una piccola influenza sul corso degli eventi. Perciò non si può dire che il determinismo, rigorosamente inteso, sia un presupposto di quella scienza che, in qualunque momento, abbiamo effettivamente acquisito. Ma con questo giudizio si resta ancora al punto di vista positivista. E si giustifica così l'affermazione di L. De Broglie¹²¹: «Un certain nombre de physiciens manifestent encore la plus grande repugnance à considérer comme définitive le renoncement au déterminisme rigoureux auquel la physique quantique actuelle est contrainte. On a été jusqu'à dire qu'une Science non déterministe est inconcevable. Cette opinion nous paraît exa-

121 *La Physique nouvelle et les quanta*, Paris, Flammarion, pag. 240.

gérée puisqu'en somme la physique quantique existe et qu'elle est indeterministe».

Evidentemente la tesi che «il determinismo è presupposto della scienza» ha un senso diverso per De Broglie e per i fisici da lui criticati. Per questi vuol dire che il determinismo è presupposto della scienza *nel suo divenire*, cioè della ricerca scientifica cui vogliasi segnare un fine, almeno astrattamente, appagante per il pensiero umano. E, come abbiamo già accennato e torneremo a spiegare nel seguito, un siffatto punto di vista conduce al di là dei limiti del positivismo. D'altronde è ovvio che una teoria scientifica può render conto di alcuni aspetti dei fenomeni, segnando leggi ordinatrici che pur lascino ignoto o indeterminato il corso degli eventi. Così le formule che traducono la rappresentazione atomica della materia nella Chimica, segnano un limite alle combinazioni possibili, ma non determinano univocamente quelle che si avverano in fatto. Per esempio la combinazione dello zinco con l'acido solforico avviene secondo la formula



mentre quella del rame collo stesso acido viene rappresentata da



La teoria atomica-molecolare è dunque lungi dallo stringere dappresso il determinismo delle combinazioni chimiche e per ciò pone un problema ulteriore, che ha ricevuto risposta soltanto da un diverso ordine di considera-

zioni, cioè dalla teoria delle soluzioni, dove si fan giocare i rapporti della materia coll'elettricità.

Un giudizio affatto simile ci sembra doversi dare dalla teoria della radioattività, contenuta nella fisica quantistica. Se, per semplicità di discorso, ci riferiamo al modello atomico di Bohr, ove più elettroni girano attorno ad un nucleo in orbite quantificate, troviamo che la quantificazione appartiene agli stati stazionarii degli atomi mentre il passaggio da uno ad un altro di tali stati (che risponde ad una esplosione dell'atomo con conseguente emissione di onde) non è in alcun modo rappresentato nel modello. Dato ciò perchè meravigliarsi che le cause dell'esplosione non sieno spiegate da un tale modello, e così che non si dia alcuna ragione per cui un atomo esploda fra dieci minuti ed un altro fra qualche secolo?

Si pretende che il comportamento ineguale di atomi che oggi non sono distinti da nessuna caratteristica, sia, in qualche modo, dimostrato dalla circostanza che la radioattività non viene accresciuta nè modificata dalle consuete cause fisiche o chimiche (calore, ecc.). Si dimentica che proprio questa circostanza (in concorso con quella che si vede giocare nel fenomeno quantità d'energia di un ordine più alto) è interpretata dal nostro modello, ammettendo che la radioattività tenga, non già a mutamenti molecolari, ma a fenomeni interni dell'atomo.

In ultima analisi, poichè il modello atomico della fisica quantistica è stato costruito senza pur tentare di dar

ragione delle esplosioni degli atomi, non vediamo alcun motivo per ammettere che si incontri qui una impossibilità intrinseca della Natura, la quale dipenderebbe da ciò che «due cose oggi eguali potrebbero comportarsi diversamente domani, pur essendo poste in circostanze eguali».

Il nostro rifiuto ad ammettere qualcosa di questo genere non si basa sopra una ipotesi concernente la struttura della realtà che, per avere un senso positivo, dovrebbe importare una soluzione del problema; ma sopra la repugnanza ad accogliere il non intelligibile, donde scaturisce la posizione del problema stesso, cioè sulla fede nella intelligibilità delle cose. C'è qui un *criterio metodologico*, affatto generale, che è il *presupposto della scienza da fare* cioè della ricerca scientifica.

Una scienza perfetta dovrebbe dare ragione di tutti i fenomeni possibili. Questo è, evidentemente, un ideale irraggiungibile, se si vuole anche privo di significato. Ma, *almeno in via astratta*, possiamo sforzarci di render conto di particolari ordini di fenomeni, di comprenderli in qualche modo traverso una rappresentazione concettuale, che costituisca una *teoria scientifica adeguata alla realtà* di cui si tratta. E prima o indipendentemente dalla verifica sperimentale della teoria (che potrà essere soltanto approssimata) dobbiamo chiedere che la teoria stessa sia *plausibile*, soddisfacendo al *principio della ragion sufficiente*, che è l'aspetto mentale della causalità.

43) *Subiettivo e obiettivo nella scienza.*

La tesi che abbiamo illustrato si accorda, in gran parte, colla critica Kantiana se questa venga liberata da ogni residuo dogmatismo¹²². Bisogna che l'a priori, condizione di possibilità della scienza, sia inteso, non come una ipotesi generale che sta a fondamento delle cose conosciute, bensì come un apporto dell'attività mentale interpretatrice dell'esperienza e costruttrice della scienza. Bisogna riconoscere che quest'a priori, che tiene alla natura del soggetto pensante, non può esser formulato con assiomi indipendenti dall'esperienza stessa o dal progresso del sapere che vi si fonda, ma viene definito progressivamente in funzione di tale sapere: così come riesce bene chiarito dalle geometrie non-euclidee e dalla teoria della relatività einsteiniana. Questo è il senso dell'a priori kantiano che abbiám visto essere dato da Helmholtz. Ed è anche l'interpretazione in cui convergono sostanzialmente alcuni fra i migliori filosofi critici contemporanei, quali L. Brunschwig¹²³ e E. Cassirer¹²⁴. Ma occorre chiarire come un criterio metodico essenzialmente subiettivo possa imporsi alla scienza, che si ritiene d'ordinario tendente ad una pura *verità* obiettiva. Il

122 Cfr. F. Enriques, *La théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*, op. cit.

123 *L'expérience humaine et la causalité physique*, Paris, Alcan, 1922.

124 *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*, Goteborg, 1936.

chiarimento sta in ciò che la verità scientifica non è qualcosa che lo scienziato contempra dal di fuori come proprio di un mondo ontologico che lo trascende, bensì elaborazione dei dati reali fatta dal pensiero e quindi costruzione in parte libera di questo. In ogni conoscenza subiettivo e obiettivo non si lasciano mai distinguere in modo assoluto. Ciò va inteso, non nel senso che lo scienziato sperimentatore perturba poco o molto la realtà che vuole osservare, ché la sua azione a tale riguardo rientra nell'oggetto effettivamente osservato; bensì nel senso che la realtà è per noi una realtà pensata, che prende forma dal pensiero stesso. Se si vede l'oggetto in un rapporto invariante di un gruppo di volizioni e di sensazioni che vi si connettono¹²⁵, conviene dire che codesto rapporto – l'oggetto affermato – è un supposto della mente che lo afferma, e che l'esperienza verificatrice, quando sia possibile, ha sempre un carattere approssimato.

Questa approssimazione lascia posto per una scelta, entro certi limiti arbitraria, fra diversi sistemi d'immagini o d'interpretazioni che si accordano egualmente coi fatti osservati; la teoria scientifica introduce e coordina cotali sistemi in una rappresentazione concettuale che tende a soddisfare le esigenze intrinseche della ragione, oltrepassando il mondo degli osservabili. Così appunto la scienza, lungi dall'esaurirsi nel dato delle esperienze, che ne costituisce il contenuto positivo, si costruisce su

125 Cfr. § 32.

questo dato, con libero gioco dell'attività creativa dello spirito.

Si può illustrare quel che si è detto, rilevando che già nell'assunzione di una legge, a descrivere un qualsiasi processo della fisica classica, si sostituisce una curva continua ad una molteplicità discreta di punti, segnati per fornire la rappresentazione grafica del fenomeno; e siffatta sostituzione importa una interpolazione delle osservazioni fatte dove gioca un momento arbitrario. La verità scientifica della legge cui si arriva in tal guisa non sta nella pura descrizione dei punti osservati, bensì nell'atto mentale di cogliere la natura della curva cui essi appartengono e nel confronto di codesta curva con nuove e più precise osservazioni.

44) *La non individualità dei corpuscoli della fisica microscopica.*

Dopo aver chiarito il significato filosofico del determinismo scientifico, come esigenza metodologica di una rappresentazione concettuale, che contenga la ragione sufficiente dei fatti da spiegare, ritorniamo alla fisica quantistica e domandiamoci quale senso assumano dunque le relazioni d'incertezza di Heisenberg. Il dilemma che esse ci impongono invitandoci a rinunciare alla causalità o alla rappresentazione meccanica spazio-tem-

porale, non può essere risolto che colla rinunzia alla rappresentazione meccanica nel senso della fisica classica. Ma conviene approfondire il significato di tale rinunzia.

Il fenomeno elementare secondo la teoria sarebbe il moto di un corpuscolo associato ad un'onda, per modo che l'intensità di questa in un dato punto e in un dato istante, indichi la probabilità di esistenza di un corpuscolo in quel punto ed in quell'istante. Ma tale definizione costituisce un puro simbolo matematico, non avendo senso di per sè, e assumendolo soltanto per riguardo alla distribuzione di un insieme numeroso di corpuscoli, che si riflette nei fenomeni molari. Ora se il corpuscolo singolo non può essere localizzato in ogni istante, per rapporto all'onda associata, se d'altra parte ove si stringa dappresso l'osservazione del luogo ov'esso si trova ci sfugge la possibilità di riconoscerne la velocità, quale specie d'esistenza possiamo ancora accordare al suo moto?

In fatto la camera di Wilson registra certe impressioni fotografiche cui saremmo indotti a far corrispondere la traiettoria di un corpuscolo mobile; ma c'è qui una legittima idealizzazione della realtà sensibile? Se così è bisogna supporre che nei momenti successivi i corpuscoli possano essere identificati e discriminati, cioè che osservando in momenti diversi due corpuscoli, sia lecito dire se essi sono o no il medesimo. Ma l'osservazione non ci consente di pronunziare tale giudizio. Si affaccia quindi l'ipotesi che i corpuscoli elementari (l'elettrone ecc.) non siano veri corpuscoli o punti fisici individualmente di-

stinguibili. Ipotesi, a dir vero, ardita e paradossale, che, nonostante l'assurda apparenza, trova conferma nello sviluppo stesso della teoria fisica. Infatti P. Langevin ha avvertito che proprio questa ipotesi risponde alle nuove statistiche di Bose-Einstein e di Pauli-Fermi, che correggono la classica teoria cinetica dei gas, rendendo conto delle proprietà dei gas che si allontanano dallo stato perfetto.

Se si considerano, per esempio, le possibilità relative a due corpuscoli A e B, che debban trovar posto in due compartimenti, esse appaiono nella statistica classica dar luogo a 4 casi distinti: A e B entrambi nel primo o entrambi nel secondo, A nel primo e B nel secondo, ovvero B nel primo ed A nel secondo. Ma nelle nuove statistiche si assume che gli ultimi due casi non sieno distinti, *come se* A e B *non sieno discernibili*. Ciò significa appunto che il corpuscolo della fisica microscopica non possiede una propria individualità.

L'argomento di Langevin, che ci pare irrefutabile, offre la più chiara spiegazione del paradosso della fisica quantistica; ciò che cerchiamo di rappresentarci come il moto di un corpuscolo non è suscettibile di siffatta rappresentazione, perchè *il cosiddetto corpuscolo non possiede l'individualità* di un punto fisico, assimilabile ad un punto materiale.

Per Langevin l'individualità è un carattere pertinente alle forme più complesse della realtà, comparabile alla personalità. Noi preferiamo dire che il *corpuscolo*, che si è condotti a figurarci secondo le abitudini di interpre-

tazione dei dati d'osservazione della fisica classica, *non è un oggetto*. Invero: oggetto è per noi (§ 32) un invariante delle volizioni e sensazioni associate (sieno queste effettive o supposte) che può assumersi come individuo del pensiero logico. Ma qui cade la proprietà, espressa dai principii logici, che due oggetti non possono essere ad un tempo distinti ed eguali; due elettroni, per esempio, che appariscano distinti in una certa osservazione, si scambiano poi l'uno coll'altro, sicchè ognuno di essi è e non è identico all'altro.

Il senso fisico che si è condotti a conferire all'elettrone (o al corpuscolo elementare) sarà dunque quello di un punto singolare, fino ad un certo segno, espressivo di uno stato appartenente ad una porzione dello spazio e del tempo che comprende il fenomeno. Le note idee sull'elettromagnetismo di Faraday-Maxwell chiariscono questo concetto, che è anche chiarito da analogie matematiche. Per esempio una funzione razionale fratta di 2° ordine $(x - a) / (x - b)$ possiede due poli a e b , che sono suscettibili di scambiarsi per una variazione continua della funzione stessa; ed un punto singolare da solo non caratterizza la funzione di 2° ordine.

45) Conferme e critiche.

La spiegazione del paradosso della fisica quantistica – non individualità dei cosiddetti corpuscoli elementari – dà luogo a consensi significativi, ma anche a critiche, che dobbiamo brevemente esaminare.

Tra i fisici l'anzidetta spiegazione vedesi accolta p. es. da Max von Laue¹²⁶. Tra i filosofi Ernst Cassirer¹²⁷ la chiarisce con opportuni richiami storici e con acute osservazioni. Egli ricorda che il nesso fra il «principium individuationis» e la localizzazione spazio-temporale è stato già avvertito da varii pensatori, per esempio da Locke e da Schopenhauer. Codesto nesso appare anche implicito nella definizione della massa di un punto materiale di Heinrich Hertz: «un contrassegno mercè cui associano ad ogni punto del tempo un punto dello spazio». È poi interessante l'osservazione che l'impossibilità di localizzare un elettrone di cui si supponga noto lo stato dinamico, ci fa comprendere il principio d'esclusione di Pauli, come esprime in forma scientifica precisa il principio leibniziano dell'*identità degli indiscernibili*¹²⁸.

Ma in contrasto con tali idee stanno le obiezioni di un filosofo di cui non si prevederebbe l'atteggiamento nella

126 Ueber Heisenbergs Unbestimmtheitsbeziehungen und ihre erkenntnistheoretische Bedeutung, «Die Naturwissenschaften», vol. XXII, 1934, pag. 441.

127 Op. cit., pag. 224 e seguenti.

128 Id. pag. 230 Nota.

questione attuale, ricordando che egli è assertore delle esigenze della ragione in confronto del positivismo. Emile Meyerson¹²⁹ giudica speciosa e non plausibile la tesi della non-individualità dei corpuscoli elementari ed è disposto invece ad abbandonare il determinismo, facendo nella Natura una parte più larga o profonda a quell'irrazionale, che esprime l'aspetto scettico o agnostico del suo sistema. Il motivo del rifiuto di Meyerson è che l'oggettivazione costituisce per lui la prima e fondamentale esigenza del pensiero. Ma crediamo non difficile chiarire l'errore cui soggiace in questo punto l'eminentemente filosofo.

È vero e – come si è visto noi ci siamo incontrati col Meyerson in questa affermazione, è vero – diciamo – che il pensiero logico ha bisogno di riferirsi a qualcosa che sia pensato come invariante e possa assumersi quale oggetto del pensiero logico. Ma se qualcosa che si sia assunto come invariante nel flusso della realtà sensibile sia effettivamente invariante, questo è un giudizio che può esser dato soltanto dall'esperienza e dal progresso del sapere che vi si fonda. Altrimenti si ricade nell'errore di Kant che, dall'aver riconosciuto l'esigenza razionale di supporre una sostanza soggiacente ai fenomeni, era tratto a concretarla senz'altro nel peso. Io guardo una gocciolina di liquido evaporantesi e sono indotto a ritenerla come un *oggetto*; ma dopo un minuto la gocciola

129 *Réal et déterminisme dans la Physique quantique*, Paris, Hermann, 1933.

si ritrova per la maggior parte in una piccola nuvoletta; dov'è ora l'oggetto a cui pur dianzi mi riferivo? Non posso pretendere che si riconosca solo in ciò che resta della gocciolina, chè anche la nuvoletta ne fa parte. Così nulla vieta che il vero oggetto, cui risponde per noi l'apparenza di un'elettrone, sia, almeno in qualcuno dei suoi momenti, od aspetti, uno stato fisico definibile per una certa porzione di spazio e di tempo; che nello stato di una tale porzione o nell'immagine che ce ne formiamo (e che dovremo sforzarci di legare alla massa dei fenomeni inesplorati) si riconosca la ragione di ciò che nella odierna meccanica quantistica è ritenuto *senza ragione*, per esempio, la causa delle esplosioni dell'atomo, ecc.

Crediamo così di aver risposto alle obiezioni del Meyerson che non soltanto l'autorità, sì anche la posizione filosofica, ci imponevano di esaminare.

46) *Conclusione.*

Vediamo di riassumere le conclusioni a cui ci ha condotto il presente studio. Anzitutto: la questione del determinismo è questione essenzialmente filosofica, che non può esser risolta dallo sviluppo della scienza. I fisici che hanno creduto di trarre una conseguenza indeterministica dal progresso delle teorie quantistiche, come risultato dell'esperienza e della scienza che vi si

fonda, vedonsi influenzati, in realtà, da motivi di ordine filosofico, che sono già affermati e spiegati *prima* dell'avvento della fisica quantistica.

Il problema del determinismo assume un significato diverso per i positivisti e per coloro che professano una gnoseologia critica e razionalistica. Per i positivisti coerenti il determinismo non può avere alcun senso rigoroso; a priori il senso positivo della causalità si riduce all'affermazione di leggi approssimate e di aspettative probabili.

Ma la critica gnoseologica o epistemologica non può appagarsi di un concetto che riduce la scienza al suo contenuto positivo come semplice collezione o descrizione di fatti. La scienza oltrepassa il suo contenuto positivo col tentativo di *spiegare* i fatti mercè una costruzione immaginativa o una rappresentazione concettuale che soddisfi (fin dove è possibile) alle esigenze razionali del pensiero.

Secondo questa veduta il principio di causalità assume il significato di un criterio logico o metodologico; criterio su cui si fonda il giudizio circa la *plausibilità* delle teorie e quindi presupposto della ricerca, che si traduce propriamente colla domanda della *ragion sufficiente*.

Il dilemma paradossale a cui mette capo lo sviluppo della recente fisica quantistica, meccanicismo acausale ovvero determinismo incompatibile con una spiegazione meccanica, si deve risolvere accogliendo la seconda alternativa, e precisamente negando l'esistenza obiettiva

dei corpuscoli elementari del mondo microscopico. Questa negazione ha già un principio di convalida nelle teorie dei gas fondate sulle nuove statistiche. La crisi della nuova fisica importa dunque non la crisi del determinismo, ma il *superamento* del meccanicismo. Tuttavia questa veduta filosofica non assume un significato intransigente nei confronti dei fisici e specialmente dei positivisti che ne dissentono. Il loro atteggiamento rassegnato ed agnostico per quel che concerne taluni aspetti dei fenomeni, e più precisamente la natura dei fenomeni microscopici, non vieta loro di farne progredire lo studio almeno per quel che riguarda il comportamento statistico, che risponde alla realtà molare. Logicamente essi possono pretendere di giocare in queste teorie un *rôle* paragonabile a quello che hanno esercitato durante due secoli i newtoniani accettanti l'ipotesi delle forze istantanee a distanza, senza far conto delle esigenze razionali che vi si oppongono. Comunque la rinuncia a comprendere ciò che vi ha di intimo nei fenomeni studiati, allontana la possibilità di scoperte significative che (più tosto o più tardi) condurranno probabilmente i *veri credenti* della scienza a superare i punti di vista attuali.

Intanto la messa a punto del problema filosofico della causalità toglie credito alle rinnovate speculazioni che esprimono motivi romantici, vitalistici, mistici, traenti occasione dai nuovi sviluppi della fisica. Con ciò non vogliamo negare il carattere suggestivo di talune idee, per esempio di quelle affacciate da Bohr; le ragioni che

portano a riconoscere più largamente la solidarietà universale dei fenomeni, tendono anche a rendere meglio intelligibile quella solidarietà degli organismi viventi, che si manifesta realmente nei più profondi aspetti della vita e che qualcuno traduce, in forma vaga, colle forze di totalità (Ganzheitskausalität); senza che vi sia bisogno di concepire qui l'esistenza di *vires a fronte* in antitesi alle *vires a tergo* o alla causalità propria, o come limite di essa. Ma non usciremo dai termini del nostro studio discutendo sul significato che può assumere, in ordine alla causalità, la finalità apparente nei fenomeni biologici. Tanto più che le nostre cognizioni a tale riguardo ci sembrano troppo insufficienti per fondarvi con chiarezza una veduta ragionevole. Molti problemi determinati che toccano la validità delle leggi fisico-chimiche negli organismi viventi, dovranno essere risolti o chiariti prima che il filosofo possa dire sull'argomento una parola significativa¹³⁰.

130 Interessanti esposizioni sulle vedute che si riferiscono a tale soggetto e sui dibattiti che esse sollevano, trovansi per esempio in:

B. Bavink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, 5 Ed.

A. Mittasch, *Katalyse und Determinismus*, Berlino, Springer, 1938.

P. Frank, Op. cit.