

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FILARETE ON LINE

Publicazioni della Facoltà di Lettere e Filosofia

ROBERTO MAIOCCHI
Chimica e filosofia. Scienza,
epistemologia, storia
e religione nell'opera di Pierre
Duhem

Firenze, La Nuova Italia, 1985
(Pubblicazioni della Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università
degli Studi di Milano, 110)

Quest'opera è soggetta alla licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 2.5 Italia (CC BY-NC-ND 2.5). Questo significa che è possibile riprodurla o distribuirla a condizione che

- la paternità dell'opera sia attribuita nei modi indicati dall'autore o da chi ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino chi la distribuisce o la usa;

- l'opera non sia usata per fini commerciali;

- l'opera non sia alterata o trasformata, né usata per crearne un'altra.

Per maggiori informazioni è possibile consultare il testo completo della licenza Creative Commons Italia (CC BY-NC-ND 2.5) all'indirizzo <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/it/legalcode>.

Nota. Ogni volta che quest'opera è usata o distribuita, ciò deve essere fatto secondo i termini di questa licenza, che deve essere indicata esplicitamente.



PUBBLICAZIONI
DELLA FACOLTÀ DI LETTERE E FILOSOFIA
DELL'UNIVERSITÀ DI MILANO

CX

SEZIONE A CURA
DEL DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA

5

ROBERTO MAIOCCHI

CHIMICA E FILOSOFIA

Scienza, epistemologia, storia e religione
nell'opera di Pierre Duhem



LA NUOVA ITALIA EDITRICE
FIRENZE

Maiocchi, Roberto

Chimica e filosofia. — (Pubblicazioni della Facoltà
di lettere e filosofia dell'Università di Milano ; 110.
Sezione a cura del Dipartimento di filosofia ; 5). —
ISBN 88-221-0209-6
1. Duhem, Pierre
121.0924

Proprietà letteraria riservata

Printed in Italy

© Copyright 1985 by « La Nuova Italia » Editrice, Firenze

1ª edizione: giugno 1985

A Maria Teresa

I N D I C E

<i>Presentazione</i>	p. XI
INTRODUZIONE	p. 1
CAPITOLO PRIMO - MECCANICISMO E METODO SCIENTIFICO DOPO NEWTON	p. 16
1. - Le ambiguità del newtonianesimo	16
2. - I primi newtoniani inglesi	22
3. - Il trapasso sul continente: la fisica olandese	24
4. - La penetrazione di Newton in Francia	25
5. - Il newtonianesimo della meccanica razionale	27
6. - Le origini della scienza laplaciana	30
7. - Il nuovo ambiente scientifico francese alla fine del Settecento	34
8. - La fisica laplaciana	36
9. - L'opposizione tra Lagrange e la scuola laplaciana	42
10. - L'attacco alla fisica laplaciana	46
11. - Il periodo positivista	52
12. - L'induttivismo della fisica britannica nei primi decenni dell'ottocento	60
13. - L'interesse per lo studio dei mezzi continui	63
14. - La fisica energetica	65
15. - Oltre i limiti della fisica energetica: il ritorno ai meccanismi nascosti	70
16. - La complessa metodologia di Maxwell	72
CAPITOLO SECONDO - LE ORIGINI DEL CONVENZIONALISMO DUCHEMIANO	p. 78
1. - Il risveglio della fisica francese	78

2. - L' inizio della discussione: Poincaré interpreta Maxwell	p. 81
3. - Duhem e la fisica inglese	87
4. - La nuova prospettiva offerta dalla meccanica chimica	92
5. - I primi lavori scientifici di Duhem	104
6. - I primi scritti epistemologici	113
7. - Le prime discussioni epistemologiche	121
8. - Prime conclusioni	130
CAPITOLO TERZO - L' EPISTEMOLOGIA DI DUHEM	p. 135
1. - Alle origini della <i>Théorie physique</i> : scienza e filosofia in Francia fino al 1906	135
2. - Le risposte di Duhem precedenti la <i>Théorie</i>	145
3. - La demarcazione tra scienza e metafisica e la critica del meccanicismo	156
4. - I fenomeni e la materia	171
5. - La nozione di esperimento in fisica	178
6. - La nozione di legge scientifica	190
7. - Teorie ed esperienza	197
8. - La scelta delle ipotesi	206
9. - Teorie e buon senso	229
CAPITOLO QUARTO - LA STORIA DELLA SCIENZA	p. 239
1. - Storia della scienza e filosofia della scienza in Francia	239
2. - I primi studi di storia della scienza di Duhem	243
3. - Le grandi opere storiche	261
4. - Il continuismo	277
CAPITOLO QUINTO - DUHEM NELLA CULTURA DEL SUO TEMPO: ALCUNI RAFFRONTI	p. 292
1. - Duhem e Mach	293
2. - Duhem e il convenzionalismo radicale	311
3. - Duhem e il neotomismo	322
4. - Duhem e Hertz	337
CONCLUSIONE: DUHEM DOPO DUHEM	p. 345
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	p. 373

PRESENTAZIONE

Il lavoro si presenta come il primo tentativo sino a oggi compiuto di offrire una visione complessiva della figura di Duhem fondandola sull'esame sistematico della sua amplissima produzione e collocandola sullo sfondo del dibattito filosofico-scientifico di fine ottocento.

L'immagine di Duhem che emerge dalla trattazione si discosta per molti versi da quella sino a oggi accolta. L'analisi della produzione giovanile di Duhem, sia scientifica sia epistemologica, consente di accreditare la visione di un Duhem impegnato a rivalutare la funzione fondamentale nell'impresa scientifica della teorizzazione e dell'astrazione, di contro all'approccio dell'empirismo fenomenista tipico del positivismo francese, e quindi pone in questione l'inserimento di Duhem nell'epistemologia di ispirazione machiana. Essa getta anche luce nuova sulla cosiddetta « crisi del meccanicismo », presentando un Duhem realista impegnato a combattere contro lo strumentalismo di marca anglosassone piuttosto che campione dello strumentalismo contro l'ontologismo meccanicista, in nome dei successi, anziché degli insuccessi, della scienza, in particolare della termodinamica chimica.

La ricca ricostruzione del dibattito svoltosi in seno alla cultura francese e della personale evoluzione di Duhem conduce poi a interpretarne l'opera epistemologica fondamentale, La théorie physique, tradizionalmente considerata il maggior documento dello scetticismo sorto a seguito della crisi delle scienze d'inizio secolo, come un tentativo compiuto da Duhem per reagire, senza ricadere nel dogmatismo fiducioso del positivismo, contro quella ventata di scetticismo con argomentazioni che avevano una origine diversa da quella costituita dai grandi e problematici mutamenti intervenuti nelle scienze fisiche a cavallo tra ottocento e novecento.

Anche l'esame della vastissima opera storica di Duhem è articolata in modo da sfociare in talune tesi originali, quali la critica alla consolidata opinione secondo cui la semplicità sarebbe per Duhem il criterio che presiede al succedersi delle varie teorie scientifiche, o quella sulla origine complessa, costituita da argomentazioni scientifiche, epistemologiche, apologetiche e storiografiche, del continuismo storico duhemiano, o quella ancora secondo cui Duhem, tanto celebre per aver posto un nesso tra fisica galileiana e fisica della scuola di Parigi, in realtà non studiò mai seriamente tale rapporto.

Sulla base di queste ampie analisi la parte finale del lavoro si preoccupa di precisare la collocazione di Duhem rispetto alle correnti culturali a lui contemporanee con le quali egli è stato sovente confuso, dal neotomismo al convenzionalismo scettico al fenomenismo di scuola machiana, giungendo a porre in evidenza l'esistenza di fratture profonde che, all'epoca, suscitarono anche polemiche vivacissime, ma sconosciute alla storiografia, come quella con i neotomisti.

Va infine rilevato che le argomentazioni svolte nel saggio sono costantemente sorrette da un vasto apparato di note le quali forniscono una bibliografia, sia di testi originali sia di testi critici, amplissima e molto aggiornata, che conferisce all'opera anche il carattere di prezioso strumento di consultazione sulla problematica filosofico-scientifica suscitata dal trapasso della scienza ottocentesca a quella del nuovo secolo.

Aprile 1984

GIANNI MICHELI
GIULIO GIORELLO
MARIO DAL PRA
GIOVANNI ORLANDI

INTRODUZIONE

La figura di Pierre Duhem è dotata di stimolante contraddittorietà e di fascino ambiguo in una misura che ben difficilmente è dato incontrare in uno scienziato. Odiava la rivoluzione francese, la democrazia cristiana, il movimento operaio e Dreyfus; combatté la teoria elettromagnetica di Maxwell quale prodotto dello spirito da commercianti degli inglesi, la riformulazione che di Maxwell diede Hertz e la relatività in quanto frutti della assoluta mancanza di buon senso dei tedeschi, vide nella teoria atomica la reincarnazione dello spirito malefico di Cartesio; sostenne che nello scontro tra Galileo e la Chiesa Cattolica la logica stava dalla parte di quest'ultima in quanto Galileo non aveva capito la vera natura del metodo scientifico; riteneva che la concezione del mondo piú consona alla scienza moderna fosse una versione « ripulita » della metafisica aristotelica. Eppure, accanto a questi aspetti rivolti al passato, la sua immagine presenta tratti straordinariamente « progressisti », addirittura rivoluzionari. Mach giudicò la sua opera « un complemento e un chiarimento » della propria¹, mentre Lenin, nel suo libro contro Mach, giudicò Duhem assai vicino al materialismo dialettico². Come fisico Duhem diede contributi scientifici di primissimo piano, particolarmente nel campo della termodinamica chimica e in quello della teoria dell'elasticità. Rinnovò gli studi di storia della scienza in modo profondissimo aprendo alla ricerca un nuovo settore, quello della scienza medioevale. Espose infine alcune tesi epistemologiche che costituiscono ancor oggi il nucleo problematico attorno cui ruotano le piú importanti discussioni di filosofia della scienza.

¹ Mach, 1922; trad. ingl. Dordrecht (1976), p. xxxvi.

² Lenin, 1970, p. 252.

Pure, di questa personalità così complessa, esiste, ormai affermatissima, una interpretazione di grande semplicità, che credo possa sintetizzare nelle tesi che seguono.

1) L'epistemologia di Duhem fu il riflesso della grande crisi del meccanicismo e, conseguentemente, crisi delle scienze, che si ebbe all'inizio del nostro secolo e negli ultimissimi anni dell'ottocento.

2) La critica del meccanicismo di Duhem fu una versione francese della critica machiana: insieme a Mach e a tanti altri « energetisti », Duhem rimprovera al meccanicismo di dare più peso alle ipotesi teoriche che non all'esperienza, di materializzare le idee, di attribuire valore ontologico a concetti che sono pure costruzioni mentali.

3) La concezione della scienza che va opposta al meccanicismo è una concezione fenomenica, che abbassa il compito delle teorie a quello di svolgere semplici funzioni strumentali e priva la scienza di valore conoscitivo. Anzi Duhem, criticando l'idea di « base empirica » della scienza, più di ogni altro ha contribuito a minare la fiducia positivista nella conoscenza scientifica.

4) Il criterio fondamentale per giudicare la teoria diventa allora quello tipico del convenzionalismo, la semplicità. E infatti Duhem, con Poincaré e Le Roy, fu uno dei massimi esponenti del convenzionalismo francese.

5) La critica della scienza di Duhem doveva servire a far spazio alla conoscenza religiosa e a far coesistere la scienza moderna con la filosofia neotomista. Anche la sua ricerca storica ebbe l'obiettivo apologetico di recuperare il contributo dato dalla Chiesa alla scienza.

6) Le sue occasionali affermazioni realiste, la sua idea che la scienza possa giungere ad una forma di conoscenza obiettiva, sono in contrasto con la sua analisi epistemologica e sono da considerarsi delle prese di posizione di carattere puramente ideologico.

Vi è subito da osservare che i giudizi espressi su Duhem sono fondati esclusivamente sulla lettura della *Théorie physique*, libro pubblicato nel 1906 e attualmente considerato il libro di epistemologia di gran lunga più acuto e attuale tra quelli, e furono numerosissimi, scritti prima della grande catastrofe bellica. Così, ad esempio, lo studio di Lowinger³, che è l'unica pubblicazione di un certo respiro esistente su

³ Lowinger, 1941.

Duhem (se si esclude il libro ⁴ della figlia di Duhem!) non è altro che una parafrasi dichiarata della *Théorie*, considerata del tutto sufficiente per comprendere la posizione duhemiana. L'analisi della vastissima produzione scientifica, epistemologica e storica di Duhem mi ha invece convinto che la lettura della sola *Théorie* non soltanto non permette di comprendere la complessità di Duhem, ma non consente neppure di capire la stessa *Théorie*. Questo testo celeberrimo, una volta collocato nel percorso globale del pensiero duhemiano, acquista un significato del tutto nuovo rispetto alla tradizionale interpretazione: esso appare un grande libro di battaglia contro lo scetticismo strumentalista.

Unicamente da questo nuovo punto di vista la *Théorie* appare chiara. Chiunque affronti la lettura di questo libro avendo in mente lo schema che ho sopra tracciato si scontra infatti con evidenti difficoltà. Come mai il convenzionalista Duhem non usa neppure una volta il termine « convenzione » e su tutti i problemi epistemologici fondamentali, nozione di esperienza, di legge, di teoria, polemizza fermente e puntigliosamente con quelli che dovrebbero essere i suoi naturali alleati, Mach, Poincaré e le Roy? Che critico del meccanicismo è Duhem che esalta Laplace, tradizionalmente considerato la bandiera del meccanicismo, ma tiene in scarsissima considerazione Fourier, solitamente ritenuto l'iniziatore della critica positivista al modellismo laplaciano, e contro il meccanicismo non sfodera tutta la tematica della « difatta di tutti i principi » che tanto successo aveva (ed ha tutt'ora) tra i filosofi? Quale strumentalista è Duhem che conduce una furiosa battaglia, epica nella storia della scienza, contro la fisica anglosassone accusandola di essere una variante dello strumentalismo e, proprio in quanto strumentalista, inaccettabile? Non è un ben strano fenomenista, poi, e un allievo di Mach un po' degenerare, chi scrive un libro per esaltare il ruolo delle ipotesi, intese come « libere creazioni », e esorta i fisici a trascurare l'esperienza nel processo di edificazione delle teorie? Se Duhem, da buon convenzionalista, usa la nozione di semplicità quale supremo criterio di scelta tra le alternative teoriche, perché nel capitolo dedicato per l'appunto alla « scelta delle ipotesi », cioè dei principi teorici, non fa alcuna menzione della semplicità? Come mai nel libro che viene considerato il più acuto e sistematico attacco alla fiducia, tipica del positivismo, nel valore conoscitivo della scienza, viene sistematicamente, ossessivamente rammentato che la scien-

⁴ Duhem, H. P., 1936.

za procede verso una « classificazione naturale », verso la costruzione di un ordinamento della natura che riflette, sia pure sempre in maniera imperfetta e migliorabile, un ordinamento oggettivo?

L'elenco degli interrogativi potrebbe continuare, ma già quelli citati credo diano un'idea di come la « standard view » di Duhem incontri nella semplice lettura della *Théorie* difficoltà che riguardano questioni di fondo, non dettagli interpretativi. Queste difficoltà sono di solito risolte o semplicemente non prendendole in considerazione, o ammettendo senza problemi incoerenze interne al pensiero di Duhem, oppure attribuendo certe affermazioni a influenze di tipo ideologico, prive di nessi razionali con l'indagine epistemologica e la pratica scientifica di Duhem. A mio avviso, invece, quelle difficoltà interpretative sono serie, importanti e non superabili con sbrigative affermazioni, in quanto sono la spia, il sintomo della insostenibilità non solo dello schema interpretativo di Duhem sopra accennato, ma anche di certi schemi ampiamente diffusi sulla crisi delle scienze dell'« età dell'imperialismo » e, conseguentemente, di altri schemi sulla evoluzione della cultura legata a problematiche scientifiche del nostro secolo.

Naturalmente la necessità di rivedere la storia del meccanicismo e della sua « disfatta » non può essere giustificata dalla analisi di un solo pensatore, per quanto importante questo possa essere. Ma, fortunatamente, non è questo il nostro caso: la revisione che tenterò di fare dell'opera di Duhem si inserisce senza attriti in un processo di revisione assai più ampio che la storiografia scientifica sta attuando da alcuni anni. Gli studi più recenti sugli sviluppi della scienza da Newton in poi hanno dimostrato essere del tutto insostenibile la visione di un meccanicismo semplicisticamente ridotto al predominio di una acritica fiducia nei modelli meccanici, che viene sconfitto sul piano metodologico da una critica alle teorie condotta in nome del fenomenismo. Ben più complessa è stata la vicenda della fisica settecentesca e ottocentesca e Duhem risulterebbe incomprensibile (o « comprensibile » a meno delle perplessità sopra esposte) a chi non avesse presente almeno per sommi capi quella vicenda.

Per questo motivo mi è parso indispensabile, prima di cominciare ad affrontare il pensiero duhemiano, indicare, sia pure a grandi linee e senza molte pretese di originalità, alcuni caratteri dello sviluppo del meccanicismo nel settecento e nell'ottocento, con particolare riguardo per la Francia, che consentiranno poi una interpretazione di Duhem meno aporetica di quella tradizionale.

Va innanzi tutto rilevato che, secondo lo schema qui proposto, la

formazione del programma laplaciano derivato dall'astronomia si configurò come una rettifica dell'impostazione tipica della meccanica razionale settecentesca, che pose in evidenza una concezione di scienza ricca di componenti sperimentali, la quale impiega tutte le potenzialità strumentali della matematica per la comprensione dell'esperienza. La « scuola » laplaciana non fu affatto dominata esclusivamente da un dogmatico modellismo a oltranza, ma fu attentissima al valore e ai meriti della sperimentazione e piú che attribuire ai propri modelli una portata ontologica, li investí del compito di avviare una unificazione teorica della fisica. L'alternativa antimodellista e fenomenista rappresentata da Fourier, con il suo insistere sul valore fondante dell'esperienza, non costituí una novità radicale, ma apparve come enfattizzazione di una componente già presente nella scienza laplaciana. La rottura che Fourier produsse nell'immediato non fu tanto metodologica, quanto piuttosto teorica: ponendo la scienza del calore come capitolo indipendente dalla meccanica Fourier attaccava il sogno laplaciano di poter costruire una teoria fisica unitaria. Un attacco in questa stessa direzione venne compiuto, e con conseguenze forse piú devastanti di quelle prodotte da Fourier, anche da altri scienziati, principalmente da Fresnel, e tuttavia su basi metodologiche nettamente differenti da quelle proprie di Fourier. La disfatta della fisica laplaciana fu generata non tanto da una alternativa metodologica, quanto piuttosto da un tumultuoso accavallarsi di nuove scoperte sperimentali e di nuove teorizzazioni ad esse relative che frantumarono la visione unitaria della fisica che Laplace aveva tentato di costruire. Di questo crollo la critica positivista fu l'effetto, non la causa. Tra tutti gli avversari di Laplace solo Fourier riuscí a fare scuola e, con l'aiuto di Comte sul piano filosofico, orientò la scienza francese della seconda metà dell'ottocento verso una fisica appiattita sulla sperimentazione, in una misura che andava ben al di là della reale metodologia di Fourier.

La scienza francese dell'età del positivismo fu soprattutto sperimentale, diffidente verso le teorizzazioni, le ipotesi troppo ardite, l'impiego di apparati matematici pesanti e raffinati. Le teorie furono intese come strumenti di ordinamento dei dati sperimentali, e strumenti di cui è bene non abusare e di cui è ancor meglio poter fare a meno. Queste convinzioni si risolsero in una inevitabile caduta della ricerca teorica in Francia.

I grandi sviluppi teorici avvennero fuori di Francia, in Gran Bretagna e nei paesi di lingua tedesca. Tutta questa grande fisica teorica fu modellista, ma di due tipi di modellismo ben differenti, Mentre in Ger-

mania il modellismo continuò ad avere funzioni unificanti, ad essere componente fondamentale delle teorie rigorosamente costruite secondo un ideale deduttivista, anzi assunse una portata ontologica che non possedeva nella fisica classica francese, in Gran Bretagna il modello venne ad assumere soprattutto funzioni euristiche e analogiche. Con la riscoperta del formalismo lagrangiano la fisica inglese imparò dapprima a trattare « dinamicamente » i sistemi materiali senza impegnarsi con modelli precisi, quindi, per andare al di là dei limiti di quel formalismo, adottò un approccio eclettico ai problemi fisici, con largo impiego di modelli, concepiti e impiegati come strumenti euristici, senza alcuna pretesa di « spiegare » con essi la realtà fenomenica, ma dotandoli solo di comode proprietà di simulazione, di analogia, le quali dovevano permettere di comprendere più facilmente, e più facilmente produrre, le equazioni matematiche. In quanto tali i modelli degli inglesi furono modelli realmente materiali, composti con elementi tratti da macchine realmente esistenti, famigliari, e in questo furono completamente differenti dai modelli tipici della scuola francese che erano astrazioni, enti di ragione, che nulla concedevano alla immaginazione concreta.

Questo tipo di fisica assai eclettica, pur se fecondissima, non priva di imperfezioni formali, incontrò una vasta opposizione tra i francesi, che erano pur sempre, anche se sperimentalisti di fatto, culturalmente e ideologicamente eredi di quella chiarezza e di quel rigore cartesiani che si erano mantenuti intatti (almeno a livello delle intenzioni) sia nella meccanica razionale settecentesca, che nella fisica di Laplace, così come in quella di Fourier. Quando Poincaré si fece banditore sul suolo francese della fisica di Maxwell si innescò un dibattito sui caratteri della scienza che produsse tutti i principali argomenti della critica convenzionalista.

In questo dibattito Duhem intervenne facendosi portatore contro Maxwell delle istanze proprie della tradizione francese classica, unitarietà, chiarezza, rigore, ma, al contempo, criticando la « degenerazione » della tradizione francese positivista che aveva perso di vista il valore inestimabile della astrazione, rifugiandosi in un acritico e illusorio sperimentalismo. Queste due facce della sua battaglia trovavano una unificazione in un tema, quello della difesa delle teorie. Contro la fisica anglosassone e di Poincaré, troppo disposta a impiegare senza problemi approcci differenti entro lo stesso contesto, Duhem difese l'unitarietà, il rigore, la coerenza della teoria intesa in senso classico. Dei positivisti Duhem criticò la pretesa illusoria di fondare la saldezza della

scienza su una nozione di esperienza dalla quale sia espunto ogni riferimento alle teorie. Critica agli inglesi e critica al positivismo sono due temi che si intrecciano inestricabilmente nei lavori di Duhem del biennio 1892-1894, durante il quale vennero enunciate tutte le principali tesi epistemologiche duhemiane quali frutto di una acuta riflessione attorno ad un solo oggetto: la natura complessa della teoria e dei suoi rapporti con l'esperienza.

Tutta l'epistemologia che verrà poi riesposta da Duhem nella *Théorie physique* del 1906 è già presente in forma quasi compiuta in quegli anni. E questa è già una osservazione che esclude la possibilità di poter interpretare l'epistemologia duhemiana come un riflesso della « crisi delle scienze »: nel 1894 non erano ancora state compiute le osservazioni di Gouy sul moto browniano, il radio non era ancora stato scoperto, né erano state fatte le misure sulla carica e la massa dell'elettrone, men che meno era stata sperimentata la variazione della sua massa con la velocità, l'ipotesi quantistica non si era ancora presentata e la relatività di Einstein non era comparsa. La « disfatta di tutti i principi » doveva ancora avvenire. E infatti nell'opera di Duhem non è affatto presente alcuna tematica della « crisi ». È vero esattamente l'opposto: l'epistemologia di Duhem non fu il riflesso di una crisi, ma il riflesso di un grande sviluppo ricco di promesse, quello della termodinamica, particolarmente nelle sue applicazioni alla chimica, che suggerirono a Duhem una concezione delle « buone » teorie fisiche ampiamente ricalcata sul modello della termodinamica. La termodinamica sembrò realizzare il sogno del grande « meccanicista » amico di Laplace, Berthollet, il sogno di costruire una meccanica chimica strettamente analoga alla meccanica razionale.

La termodinamica agli occhi di Duhem apparve il modello di scientificità unitario, rigoroso, coerente, da opporre alla fisica anglosassone, ma apparve anche un genere di teoria scientifica estraneo al positivismo. A Duhem la termodinamica piú che scienza fenomenica, sperimentale, quindi « positiva », parve scienza teorica, astratta, matematizzata, *a n t i - i n d u t t i v a*. Per far accogliere alla comunità scientifica francese la nuova termodinamica di Gibbs, Duhem non doveva affatto opporre una concezione fenomenista ad un'altra che privilegiasse le ipotesi, le costruzioni teoriche. Questa era l'operazione, semmai, che, partendo da premesse differenti, stava compiendo Mach nell'ambiente tedesco dominato da Helmholtz e Du Bois-Reymond, ma in Francia la critica all'abuso delle costruzioni teoriche fatta nel nome dell'esperienza era stata la bat-

taglia del positivismo, che già per suo conto era arrivato a concepire le teorie quali semplici strumenti e, addirittura, come strumenti in linea di principio eliminabili; Duhem dovette combattere una battaglia di senso opposto e difendere il valore dell'astrazione, della teoria, dell'antiinduttivismo contro le pretese egemoniche dello sperimentalismo.

Criticando la nozione di esperienza tipica del positivismo Duhem non intendeva minare le basi della scienza, ma porre in rilievo quanto fosse illusoria la pretesa di fondare la scienza su « fatti » privi di nessi con la teoria. I suoi argomenti vennero rapidamente fatti propri dalla critica scettica che, a cavallo tra i due secoli, prese grande vigore nella cultura francese. Ma Duhem fin dai suoi primissimi lavori chiarì che egli riteneva la scienza dotata di un reale valore conoscitivo, che la dinamica della storia a suo parere procede verso una « classificazione naturale ». Il grande problema della sua successiva riflessione fu proprio quello di accordare questa idea al fondo realista della scienza con le proprie acute, minuziose e impietose critiche epistemologiche. Il modo in cui cercò di risolvere questo problema può certo essere rifiutato, ma non ritengo che l'idea di « classificazione naturale » si possa considerare un'aggiunta estrinseca, dettata da ragioni ideologiche, a un qualche nucleo « critico » del pensiero duhemiano. Quell'idea fu il postulato che Duhem impiegò per sostenere la propria concezione di scienza coerente, unitaria, rigorosa, contro la fisica anglosassone, quindi il postulato che orientò tutta la sua opera di ricercatore e che sottese tutta la sua riflessione epistemologica, e mi pare assai difficile poterla considerare un « corpo estraneo ». Duhem vide con grande chiarezza, direi con chiarezza superiore a quella di molti storici del novecento, che la forma specifica assunta dal meccanicismo ottocentesco era ben differente da quella dei secoli precedenti: gli inglesi non pretendevano con i loro modelli di « spiegare » la realtà profonda dei fenomeni, ma usavano i modelli come strumenti euristici. Ma se si ammetteva che le teorie siano solo strumenti o, con Mach, che abbiano solo funzione economica, non vi era alcun modo, a parere di Duhem, di opporsi alle teorie d'Oltremontagna che erano, appunto, una variante strumentalista del meccanicismo. Solo partendo da una concezione non strumentalista ma conoscitiva della scienza era possibile combattere contro Maxwell e Poincaré, contro l'incoerenza. Del resto, proprio coloro che più indulgono sull'ideologismo di Duhem non vengono forse ad assumere una posizione assai simile allorquando, con Lakatos, affermano: « La coerenza... deve rimanere un importante principio regolatore... e le incoerenze... devono essere considerate come problemi.

La ragione è semplice. Se la scienza mira alla verità, deve mirare alla coerenza; se rinuncia alla coerenza, rinuncia alla verità »⁵? La critica al meccanicismo, o almeno del meccanicismo « che contava » negli ultimi decenni dell'ottocento, si configurò in Duhem come critica allo strumentalismo. Siamo esattamente all'opposto, perciò, del tradizionale schema che identifica la critica al meccanicismo con una interpretazione strumentalista delle teorie (propria dei critici) che si oppone a una interpretazione realista (propria dei meccanicisti). Qui il realista è Duhem e gli strumentalisti sono i « meccanicisti » Kelvin e Maxwell!

La stessa *Théorie* va interpretata come un libro di battaglia contro lo strumentalismo e lo scetticismo. La tesi può sembrare dettata dal gusto del paradosso, ma così non è. L'analisi contenuta nel terzo capitolo della genesi della *Théorie* entro l'opera complessiva di Duhem, della evoluzione dell'ambiente francese di quegli anni, nonché del testo stesso mi pare dimostri a sufficienza che Duhem decise di riproporre le tesi epistemologiche che aveva già esposte negli anni 1892-94 per fronteggiare una ventata di crescente strumentalismo scettico che, sull'onda sia di nuove scoperte scientifiche, sia di una particolare evoluzione della cultura francese, stava scuotendo la comunità scientifica (e filosofica) in terra di Francia.

Nella *Théorie* Duhem si propose di mostrare in qual modo si possa non cadere nello scetticismo pur senza nulla perdere di quella critica al dogmatico empirismo positivista che egli aveva compiuto oltre un decennio prima. L'operazione tentata è assai rischiosa: si tratta di mantenersi costantemente in equilibrio su un metaforico filo con il rischio sempre ricorrente di cadere da un lato nel dogmatismo, dall'altro lato nello scetticismo. È chiaro che è questo secondo pericolo quello che più paventa Duhem perché di fatto era in senso scettico che erano state interpretate le sue tesi giovanili. Ed ecco allora che Duhem sviluppa una costante e serrata polemica contro Mach, contro Poincaré e contro Le Roy. È stupefacente come la critica non abbia tenuto nel giusto conto queste chiarissime pagine duhemiane che rappresentano la più lucida, articolata ed efficace polemica contro il convenzionalismo di intonazione scettica. Su tutte le questioni epistemologiche fondamentali (cos'è un'esperienza, cos'è una legge, cos'è una teoria, qual è la natura della scienza) da un lato Duhem risponde e ribadisce le proprie tesi giovanili, dall'altro lato si preoccupa di dimostrare come da quelle tesi non si debba necessaria-

⁵ Lakatos, 1976, p. 220.

mente approdare alle conclusioni svalutative cui erano giunti falsi compagni di strada. La visione complessiva della scienza che emerge dalla *Théorie*, se si prendono sul serio tutte le sue pagine, non soltanto quelle di critica al dogmatismo positivista che nel 1906 erano proprio le più fruste per i lettori di Duhem, è evidentemente una visione lontanissima da ogni fiducia acritica nella scienza, ma è anche una concezione realista che ci presenta una scienza perennemente in movimento, una scienza che è fatta dall'uomo e come tale sempre rividibile, che procede ritoccano continuamente i propri schemi concettuali, modificandoli, generalmente complicandoli, in vista di un sempre miglior adeguamento tra immagine scientifica della realtà e realtà stessa, realtà certo inattingibile completamente, ma sempre meglio approssimabile.

La visione dell'impresa scientifica che emerge dalla *Théorie* è dunque essenzialmente dinamica. In quanto tale essa non può essere compresa pienamente solo mediante una « analisi logica », anzi l'analisi logica da sola conduce inevitabilmente a conclusioni erranee. Lo scetticismo di Le Roy, ad esempio, proprio considerando l'attività dello scienziato da un punto di vista logico aveva notato l'esistenza della possibilità di una serie di ritocchi, di modifiche degli schemi teorici di fronte all'esperienza e li aveva interpretati come « trucchi » che ci permettono di costruire un mondo di carta a nostro gusto. Per Duhem invece, considerate nella loro concreta dinamica storica, quelle « mosse » si rivelano essere niente affatto arbitrarie, ma altrettanti tentativi di costruire uno schema di mondo sempre più adeguato al mondo reale. La pura analisi logica va integrata con la storia, solo quest'ultima può preservarci tanto dai pericoli del dogmatismo, quanto da quelli del « pirronismo ».

Per questa ragione la *Théorie* si conclude con un ponte gettato dalla epistemologia alla storia. Alla storia viene rinviato il problema epistemologico di fondo di Duhem, quello della scelta delle teorie, dal quale dipendono la scelta dei risultati sperimentali e la scelta delle leggi. Ad una pura analisi logica il problema della scelta delle teorie non appare risolubile se non attraverso il ricorso a principi soggettivi quali ad esempio la maggior semplicità. Ma questa soluzione, cavallo di battaglia di tutto lo strumentalismo e adottata da Duhem in un lavoro giovanile, viene decisamente scartata nella *Théorie*, proprio per le sue implicazioni scettiche e strumentaliste. Nel concreto della storia quasi mai si vede uno scienziato scegliere in base a quel criterio solo; sempre gli scienziati lavorano, combattono, scrivono in un contesto storico che eser-

cita grande influenza e li dirige nelle loro scelte, mai sono lasciati in balia di criteri di scelta puramente logici.

Con il legare indissolubilmente epistemologia e storia Duhem pose in rilievo l'impossibilità di definire uno schema rigido di comportamento per lo scienziato, un metodo storico che opera in ogni circostanza con la forza di una dimostrazione matematica (da Duhem sempre concepita in termini classici, euclidei), metodo definibile, appunto, in termini logici. Questo insegnamento, che oggi si rivela tanto attuale, non fu però accompagnato da un atteggiamento lassista secondo cui ogni metodo è lecito, così in scienza come in amore. Duhem fu convinto che esistessero criteri, se non logicamente migliori, ragionevolmente migliori di altri. In particolare egli privilegiò il criterio di scegliere quella teoria, quell'ipotesi che meno ci costringe a perdere, a rivedere, del patrimonio scientifico già consolidato, il criterio, cioè, di essere il più possibile conservatore. La ragionevolezza di questo criterio si fondava inizialmente agli occhi di Duhem da un lato sulla propria pratica di scienziato militante nel campo degli studi di termodinamica, dall'altro lato sullo studio della storia dal seicento in avanti, che mostrava nella generalità dei casi uno sviluppo graduale, un continuismo spinto che configura ogni novità scientifica come scostamento il più piccolo possibile dalle conoscenze acquisite.

Il continuismo fu esteso successivamente da Duhem a tutta la storia della scienza, anche a quella precedente la rivoluzione scientifica. Proprio nel campo della storia antica e medioevale egli diede i suoi più grandi contributi storiografici scoprendo, si può dire da solo, un intero settore della storiografia scientifica. Le grandi opere storiche di Duhem, pur essendo di per se stesse di altissimo valore, furono subordinate decisamente ad un disegno apologetico: il continuismo doveva servire da un lato a offrire una « sesta via » per giungere a dio, un dio che dirige l'impresa degli scienziati garantendo la convergenza dei loro sforzi, dall'altro lato a sfatare la « leggenda » che la Chiesa Cattolica non ha contribuito alla nascita della scienza moderna.

Tuttavia, come dimostro nel quarto capitolo, il continuismo non fu inventato da Duhem per scopi apologetici. La tesi continuista (del resto diffusissima in ambiente positivista) fu in primo luogo il risultato di una riflessione sulla propria pratica scientifica; Duhem *a s s o l u t i z z ò* il modello di sviluppo che si poteva trarre dalle vicende della termodinamica ottocentesca (e che in questo senso non può essere considerato un modello estraneo alla pratica scientifica) e si sforzò poi di

applicarlo a tutta la storia della scienza, nonché di sfruttarlo a fini apologetici. Nonostante la sua analisi epistemologica lo spingesse ad affermare che è impossibile privilegiare un criterio di scientificità sugli altri in modo assoluto, che si può solo preferire « ragionevolmente » un particolare criterio, Duhem, spinto soprattutto dalla necessità di sostenere le ragioni della termodinamica, finì per considerare il modello continuo l'unico possibile e ne cercò la conferma nella storia, trovandola con relativa facilità.

La grande opera storica di Duhem ci dimostra quanto sia facile, ma anche pericoloso, cercare di applicare un particolare modello di scientificità, che può essere valido per un caso storico, alla storia tutta. La storia di Duhem è un grande esempio di quanto benefico sia per la storia stessa il contatto con l'epistemologia, perché solo grazie alla critica epistemologica al positivismo Duhem fu in grado di produrre una storia di gran lunga superiore a quella positivista. La critica della nozione di esperimento cruciale dischiuse una visione della storia non riducibile a esperienze ed elaborazioni matematiche, una prospettiva ricchissima in cui diventavano componenti fondamentali dell'impresa scientifica la metafisica, gli scontri tra scuole rivali, le strategie di attacco e di difesa, il rifiuto delle smentite sperimentali. Molte volte, sulla scorta di critiche specifiche rivolte da Koyré alla ricostruzione che Duhem ha fatto di Galileo, si è cercato di individuare un qualche difetto di fondo della storia duhemiana, una qualche perversione originaria nella sua metodologia in grado di produrre l'effetto continuista. Volta per volta sono state indicate la mancata considerazione del contesto storico, l'esclusione della metafisica, la trattazione manipolatrice dei documenti, l'eliminazione delle discussioni tra scienziati, della dialettica tra scuole opposte. A mio avviso nessuno di questi tentativi regge: la storia di Duhem, se la si considera nella sua interezza, se non si isolano e non si privilegiano indebitamente certi testi, come $\Sigma\Omega\text{ZEIN TA } \Phi\text{AINOMENA}$, che non avevano affatto un intento specificamente storiografico, è un grande esempio di serietà storiografica. Pure, nonostante riuscisse a produrre un'ottima storia, Duhem finì comunque per fare del continuismo uno schema apriorico. Ma proprio per questo la vicenda del Duhem storico è significativa: essa ci dimostra che per trovare conferme a un modello preconstituito di razionalità scientifica non è necessario fare molta violenza alla storia, basta adottare alcune opportune ipotesi *ad hoc* e si possono fare ottimi libri di storia che purtuttavia confermano l'ipotesi apriorica di partenza. Per Duhem questa era una operazione che aveva

come fine l'apologia di dio e, soprattutto, della Chiesa. Oggi molte ricostruzioni storiche sono, piú modestamente, apologia di questo o quel filosofo della scienza.

Con le sue polemiche Duhem assunse una posizione indubbiamente originale nel campo della cultura europea di inizio secolo, talmente originale da apparire un isolato. Anche l'aspetto della sua opera che piú ha suscitato scalpore e che indubbiamente era assai importante dallo stesso punto di vista di Duhem, cioè l'approccio al problema del difficile rapporto tra scienza e religione, non incontrò affatto successo. La sua fisica fu etichettata come « fisica del credente » e sovente, anche in tempi recentissimi, Duhem è stato classificato come « neotomista », ma in realtà la posizione assunta da Duhem sul rapporto tra scienza e fede fu assai personale. Rispetto alla impostazione che aveva assunto il neotomismo (diversa da quella attuale) il dissidio di Duhem fu aperto e totale: mentre egli proponeva una netta distinzione epistemologica tra scienza e metafisica, quindi un accordo tra scienza e religione fondato su una loro separazione, il neotomismo tentava una unificazione nella quale i rapporti tra metafisica e scienza erano, se non deduttivi, almeno di subordinazione. Gli ambienti ufficiali del neotomismo reagirono infatti con estrema durezza fin dalla comparsa dei primissimi lavori duhemiani.

Ma Duhem svincolando la scienza dalla metafisica non intendeva neppure cadere nell'approccio antiintelletualista tipico del modernismo, che opponeva l'oggetto della ragione (di cui si occupa la scienza) alla fede come oggetto del sentimento. Anche da parte modernista non mancarono infatti attacchi assai duri ai lavori duhemiani. Con la sua critica Duhem non voleva concludere che le questioni teologiche non fossero affrontabili con metodologie « razionali » e andassero perciò risolte affidandosi alle sole « ragioni del cuore ». Egli riteneva che anche in campo teologico fosse possibile un approccio razionale, pur se di un tipo di razionalità differente da quello valido nel campo della scienza. Duhem però non volle mai precisare (o forse non vi riuscì) a quale tipo di razionalità diversa intendesse riferirsi e la sua posizione, nelle intenzioni intermedia tra neotomismo e modernismo, fu criticata da entrambe queste correnti (oltreché dal pensiero laico) e finì per non far presa su nessuno.

Anche in campo epistemologico Duhem spicca nel panorama dei suoi contemporanei. Rispetto al convenzionalismo di Poincaré e Le Roy Duhem prese le difese della funzione fondamentale che l'esperienza ricopre nei confronti delle teorie, ma con questo non si schierò affatto con

la legione di empiristi guidata da Mach. Sebbene ancor oggi Duhem sia considerato un « ripetitore » di Mach, la divergenza tra le epistemologie dei due grandi studiosi fu radicale: mentre Mach condusse una grande battaglia contro la presunzione delle teorie in nome dell'empirismo fenomenista, Duhem combatté le pretese dell'induttivismo compiendo un elogio delle teorie. Ove il primo sempre sottolineò che al fondo delle teorizzazioni vi è l'esperienza, il secondo enfatizzò la circostanza che una esperienza ha senso solo in funzione di certe teorie. Per il primo il materiale con cui si costruisce la scienza è dato dai fenomeni, per il secondo è l'astrazione simbolica. Sicuramente la differenza che separa Mach da Duhem fu dovuta ai differenti contesti in cui i due personaggi si trovarono ad operare: Duhem doveva difendere il valore delle teorie di fronte alla critica svalutativa dell'empirismo positivista; Mach si trovava invece di fronte una scienza come quella di Helmholtz, che tendeva a dar veste oggettiva ai propri costrutti teorici. E tuttavia la differenza dei contesti non elimina gli esiti differenti cui giunsero le due epistemologie: il fenomenismo, quella di Mach, la concezione ipotetico-deduttiva quella di Duhem.

La cultura tedesca del novecento continuò per lungo tempo ad essere dominata dal potente influsso dell'opera machiana. Il neopositivismo ricercò una base stabile per la scienza in proposizioni fenomeniche che Duhem aveva dimostrato essere irrilevanti per il discorso scientifico, e tentò di eliminare i termini teorici, che Duhem aveva sostenuto essere ineliminabili. Anche Popper, che pure piú dei positivisti logici sottolineò il carattere convenzionale della base empirica, trascurò l'analisi epistemologica di Duhem e polemizzò soltanto con la versione tedesca del convenzionalismo. Tanto il neopositivismo quanto il falsificazionismo, poi, concepirono la riflessione sulla scienza esclusivamente come analisi logica, non presero in alcuna considerazione il nesso tra epistemologia e storia della scienza, tanto caratteristico in Duhem, e si proposero l'obiettivo di costruire un modello di razionalità scientifica dotato di validità assoluta, astorica. In Francia, ove permase vivo il legame tra epistemologia e storia, il risvolto apologetico dell'opera di Duhem suscitò gli attacchi tanto dell'idealismo di Brunschvicgh quanto del realismo di Rey. La critica storica di Koyré completò l'opera e all'epistemologia chiara e penetrante di Duhem subentrò quella sfumata sino ad essere fumosa di Bachelard.

Non vi è da stupirsi, dunque, se Duhem è stato poco studiato, se su di lui circolano giudizi frettolosi e superficiali. Solo in questi ultimi

anni, sotto la spinta di processi di revisione interni sia al verificazionismo neopositivista, sia al falsificazionismo della scuola popperiana, nonché di critiche esterne come quelle di Quine e Hanson, gli studi di filosofia della scienza di lingua inglese si sono orientati lungo linee più consoni al pensiero duhemiano, in particolare verso un recupero del fecondo legame tra storia ed epistemologia, e Duhem è stato riscoperto. Non vi è oggi libro di filosofia della scienza o articolo di un certo respiro che non citi la *Théorie*, mentre gli altri filosofi della scienza d'inizio secolo, da Mach a Poincaré, da Le Roy a Ostwald, sembrano ormai conservare un interesse puramente storico. Duhem più di tutti i suoi contemporanei sembra aver colto aspetti rilevanti della dinamica della scienza nonostante (ironia della sorte o valore della riflessione storico-critica?) sia stato il più reazionario sul piano puramente scientifico.

Questo risveglio di interesse non si è però ancora tradotto in un risveglio di studi seri. L'unico libro di Duhem che venga letto, o meglio saccheggiato con continuità è pur sempre la *Théorie*, e un solo libro, per quanto importante possa essere, non può bastare per comprendere il pensiero di un autore che ha scritto molte migliaia di pagine. Fino a pochi anni or sono Duhem era uno studioso dimenticato, ora è un personaggio importante. Non si tratta più oggi di rivendicarne l'importanza, si tratta invece di cominciare a studiarlo seriamente.

CAPITOLO PRIMO

MECCANICISMO E METODO SCIENTIFICO DOPO NEWTON¹

1. - LE AMBIGUITÀ DEL NEWTONIANESIMO.

I caratteri e la storia della fisica europea nel settecento e nell'ottocento furono in larga parte determinati dalla grande opera newtoniana, e proprio la complessità di quest'ultima è all'origine delle difficoltà interpretative poste dagli sviluppi della scienza fisica dei due secoli successivi a Newton. L'immagine semplificata che di Newton aveva dato il positivismo non regge ormai più e la personalità del grande scienziato inglese si va rivelando di una ricchezza sempre crescente. Newton non può più essere visto come il fondatore di un quadro concettuale coerente e limpido entro il quale si sarebbero sviluppate le ricerche dei « newtoniani », ma piuttosto come colui che ha fornito elementi per la costruzione di paradigmi contraddittori gli uni con gli altri, di svariati programmi di ricerca in competizione. La ricchezza della produzione culturale newtoniana, i multiformi aspetti della sua opera non furono unificati in un unico schema coerente, ma rimasero sospesi, fluttuanti in un insieme sovente ambiguo, se non contraddittorio. Da qui la possibilità, che si realizzò storicamente, di essere « buoni newtoniani », quindi essere « meccanicisti », in tanti modi, spesso antitetici, ognuno richiamantesi a questo o a quell'aspetto dell'opera di Newton.

¹ I primi otto paragrafi di questo capitolo sono la sintesi di un lavoro da me già pubblicato: Maiocchi, 1982. Per tutti i necessari riferimenti bibliografici relativi a questi paragrafi si rinvia il lettore a quel lavoro. Qui di seguito mi limiterò a dare solo le note essenziali.

Già i due maggiori lavori di Newton, i *Principia*² e l'*Ottica*³, affrontando ambiti di ricerca giunti a ben differenti stadi di maturità, sembravano offrire insegnamenti apparentemente opposti circa la natura di una corretta spiegazione scientifica.

Nei *Principia* è presente una scienza ricalcata sul grande esempio di Euclide, scienza deduttiva, che si risolve nella costruzione di rigorosi schemi astratti, da interpretare poi fisicamente e da confrontare con i fenomeni quantificati. Tutto quanto sfugge a questo tipo di schema controllabile è da espellere dalla considerazione del fisico. Nell'*Ottica* prevale invece la visione di una scienza non deduttiva, matematizzata in modo elementare o, in certi casi, puramente qualitativa, ricca di « imprudenti » ipotesi speculative, scienza che si fa in laboratorio con l'aiuto delle mani piuttosto che con quello della geometria.

Nei *Principia* la matematica è strumento ordinatore dell'esperienza che procede nelle sue dimostrazioni in modo indipendente da considerazioni fisiche e solo alla fine si confronta con l'esperienza. È la matematica che impone il proprio ordine ai fenomeni, e l'ordine dei fenomeni è ordine matematico. Nell'*Ottica* la matematica compare (quando compare) con funzioni sussidiarie all'esperienza e alle considerazioni fisiche; l'ordine della natura è imposto dall'esperienza.

Nei *Principia* vi è una distinzione chiara tra la teoria (la meccanica) e il modello cui tale teoria è applicata. Il modello fa da tramite tra teoria ed esperienza, è lo strumento che permette di applicare la teoria alla comprensione dell'esperienza. La teoria fissa le regole di comportamento comuni a vari mondi possibili. Il modello specifica i caratteri di uno di questi mondi e permette di ricavare dalla teoria asserzioni controllabili sperimentalmente. Entrambi, modello e teoria, sono poi ben distinti dalla realtà in quanto costruzioni matematiche che solo in alcune loro parti, dopo opportuna interpretazione dei termini, sono confrontabili con l'esperienza; ma mentre nella costruzione dello schema matematico che costituisce la teoria si debbono rispettare alcuni vincoli « esterni », nella costruzione del modello si è completamente liberi. La fondazione dei principi della dinamica non risiede solamente nel soddisfacente confronto tra le conseguenze che da essi si possono trarre e l'esperienza (anche se questa rimane la principale garanzia della loro correttezza), ma anche in

² Newton, 1967. Rinuncio qui a dare un cenno anche sommario della bibliografia critica che mi ha guidato nell'interpretazione di Newton. Per questo rinvio a Maiocchi, 1982.

³ Newton, 1978.

una loro giustificazione diretta sulla base o del ricorso all'esperienza o dell'assenso della comunità scientifica. Nella costruzione del modello cui applicare la teoria, invece, l'unico vincolo è quello del rispetto delle regole della matematica, il modello è una libera costruzione matematica, sciolta dai vincoli imposti da una qualsiasi metafisica e da quelli dettati dall'esperienza, con cui il modello si confronta solo a posteriori⁴.

Questa concezione complessa e metodologicamente avveduta dei rapporti tra teoria, modello ed esperienza era possibile nei *Principia* in quanto qui Newton aveva a disposizione un corpo di teorie (la dinamica e l'astronomia) già maturo, largamente matematizzato e ben fondato su cui lavorare. Tutt'altra era la situazione quando si trattava di affrontare i problemi oggetto dell'*Ottica*. Qui teorie paragonabili alla dinamica o addirittura all'astronomia non esistevano e un primo, provvisorio tentativo di comprensione e di ordinamento dei fenomeni complessi fu da Newton tentato direttamente con la costruzione di modelli spesso solo qualitativi. Nell'*Ottica* teoria e modello vengono spesso a confondersi e ad identificarsi. Il modello non è più il tramite tra una teoria (che non esiste) e la realtà, ma è esso stesso applicato direttamente all'ordinamento dell'esperienza. Era questo un appiattimento del complesso rapporto teoria-esperienza presente nei *Principia* forse inevitabile, ma comunque un appiattimento. Coloro che si ispirarono all'*Ottica* furono spinti a identificare la costruzione di teorie con la costruzione di modelli (per di più qualitativi), quindi a trasferire direttamente al modello quei caratteri che Newton riteneva propri della teoria, facendo perdere quella carica di ipoteticità, provvisorietà, arbitrarietà, astrattezza, che il modello possedeva in Newton.

Con la sua complessa metodologia Newton veniva a sfidare la concezione razionalista di scienza dominante sul continente, rappresentata dall'eredità di Cartesio e Leibniz, dal punto di vista di un empirismo

⁴ « In questo trattato — afferma Newton nei *Principia* — esamino... non le specie delle forze e le qualità fisiche, ma le quantità e le proposizioni matematiche. In matematica vanno investigate quelle quantità e quei rapporti delle forze che discendono dalle qualsiasi condizioni poste; ma quando si passa alla fisica, questi rapporti si devono confrontare con i fenomeni » (Newton, 1967, p. 339, spaz. mie). Newton, ad esempio, tratta un modello di fluido elastico composto da particelle dotate di forze repulsive, che ha un valore autonomo indipendentemente dalla circostanza che i fluidi reali abbiano effettivamente le caratteristiche descritte dal modello: « Ma il quesito se i fluidi elastici constino di particelle che si respingono mutuamente, è un problema fisico. Noi abbiamo dimostrato matematicamente le proprietà dei fluidi che constano di particelle di questo tipo, al fine di fornire ai filosofi le opportunità di trattare questo problema » (*Ibid.*, p. 480).

che, a differenza del « meccanicismo positivo » seicentesco di Mersenne, Roberval, Gassendi, Pascal e Hobbes, non si accontentava piú di una conoscenza solo probabile, ma voleva porsi come nuova via alla certezza. Tuttavia questa sfida al razionalismo trovava nelle *Regulae* newtoniane una giustificazione filosofica debole: tali *Regulae* non facevano altro che riaffermare, senza fondare, il convincimento circa una natura semplice e sempre conforme a se stessa e a fare di questo asserto la base della fiducia nella via empirica alla conoscenza.

Dal punto di vista della teoria, poi, la fisica di Newton conteneva una serie di dualismi non risolti, sorgenti di grosse ambiguità. La prima di queste, la piú famosa, fu quella tra continuo e discontinuo, tra azione a distanza e azione per contatto, legata ovviamente alla spiegazione della gravità. Nel corso della sua produzione Newton assunse posizioni differenti sul problema, considerando con interesse spiegazioni tramite fluidi eterei in gioventú, cercando di eliminare la questione in quanto non scientifica nelle prime edizioni dei *Principia* e dell'*Ottica*⁵, reintroducendo poi nuovamente considerazioni fluidistiche nei suoi ultimi lavori. Inoltre, negli studi sul magnetismo Newton non usò mai forze agenti a distanza, ma sempre fornì spiegazioni in termini di « effluvi », suscitando un certo imbarazzo nei suoi discepoli. A complicare ancor piú il problema, l'etere newtoniano, che a prima vista sembrava fondare una fisica del continuo, poteva anche essere interpretato come un fluido discontinuo, composto da particelle piccolissime, capaci di esercitare forze molto intense, quasi centri di forza privi di estensione, dunque, anziché parti di materia sottile cartesiana. Si trattava perciò di un etere « dinamico » piú che di un etere « meccanico ».

Strettamente connessa all'opposizione continuo-discontinuo vi era quella tra materia e forza. Il meccanicismo corpuscolare seicentesco voleva spiegare il mondo con i due « cattolicissimi » principi di Boyle, materia e movimento. A questo corpuscolarismo cinematico Newton sostituì un corpuscolarismo dinamico, aggiungendo la nozione di forza. Si aprì cosí il problema di chiarire quali fossero i rapporti tra materia e forza.

Nei *Principia* i corpi materiali son considerati puntiformi, centri di forza. Ma questa è, dice piú volte Newton, una rappresentazione mate-

⁵ Koyré ha mostrato come questo tentativo generasse invece nei lettori, contro le aspettative di Newton, la convinzione che la gravità agente a distanza fosse una proprietà inerente alla materia. Cfr. Koyré, 1972, pp. 165-181.

matica permessa dal suo famoso teorema secondo cui la gravità agisce nei corpi sferici come se fosse tutta concentrata nel baricentro. Il problema della struttura della materia e dei suoi rapporti con la forza è affrontata nell'*Ottica*. Qui Newton, partendo da esperienze sulle proprietà ottiche di pellicole sottili, arrivò a sostenere l'estrema piccolezza delle particelle materiali. Da queste affermazioni si svilupperà tra vari newtoniani la cosiddetta « teoria del guscio di noce », secondo la quale tutte le particelle materiali presenti nell'universo potrebbero essere ammassate in un piccolo guscio di noce⁶. Da qui a far completamente scomparire tutta la materia e fare della forza il concetto fondamentale della fisica approdando ad una concezione puramente dinamista della realtà il passo è breve e sarà infatti compiuto. D'altra parte in Newton, come abbiamo visto parlando dell'etere, la primarietà della forza non è affatto affermata con chiarezza e « dinamisti » ed « atomisti » potranno appellarsi entrambi alla sua autorità.

Una terza fondamentale opposizione presente nel sistema newtoniano è quella tra quantità e qualità. La materia è concepita da Newton inerzialmente omogenea, qualitativamente indifferenziata, differenziabile solo quantitativamente. Questa convinzione stava alla base della sua visione della chimica e giustificava la ricerca della possibilità di trasmutazione degli elementi⁷. Tuttavia il postulato della omogeneità inerziale della materia, pur fondamentale, era più implicito e assunto arbitrariamente, che non discusso e motivato. Non solo, ma esso fu esplicitamente contraddetto da Newton quando questi postulò, nella seconda edizione dell'*Ottica*, due tipi di particelle non trasmutabili l'uno nell'altro: le particelle pesanti e le particelle eteree responsabili della gravità. Queste ultime, a differenza di quelle pesanti, esercitano forze che sono inversamente proporzionali alle loro dimensioni, ad esse non può essere estesa la consueta proporzionalità tra massa, inerzia e gravitazione ed è dubbio se debbano essere considerate dotate di inerzia. L'etere diede dunque avvio al processo di introduzione di un tipo di materia qualitativamente differente da quella ordinaria e aprì la via ai successivi fluidi sottili imponderabili portatori di qualità specifiche.

Infine, particolarmente ambiguo appariva il rapporto tra scienza, metafisica e religione. Newton si era pubblicamente raccomandato di

⁶ Cfr. Thackray, 1968.

⁷ Su questo aspetto non molto famoso del pensiero di Newton cfr. Kuhn, 1951; Hall-Hall, 1958 e 1960; Thackray, 1970; Westfall, 1975; Dobbs, 1975; Figala, 1977.

non mescolarle, e di queste raccomandazioni troppo acriticamente si è fidata l'interpretazione positivista. In realtà gli scritti inediti e i carteggi hanno rivelato un Newton che viene elaborando la propria fisica in polemica con la metafisica cartesiana, assorbendo la tradizione del platonismo inglese, andando alla ricerca di una « prisca philosophia » e interessato all'uso apologetico delle proprie scoperte⁸. La formulazione della prima ortodossia newtoniana, la primitiva diffusione del pensiero di Newton avvennero in un ambiente dominato da interessi metafisici e religiosi, nel quale Newton stimolava ed aiutava teologi « di professione » come Bentley e Clarke a sistemare le grandi acquisizioni dei *Principia* in una nuova apologetica cristiana, alla formulazione di una fisica « pia » da contrapporre alla fisica « empia » dei cartesiani. Ciò che la scienza newtoniana offriva all'apologetica era un modo nuovo di sostenere i due classici argomenti, quello della creazione, che rimanda a un creatore, e quello dell'ordine, che rimanda a un ordinatore. Tanto la creazione quanto l'ordine del mondo venivano affrontati da Newton in modo matematico e rinviavano « quasi matematicamente » a un dio « assai esperto in meccanica e geometria »⁹.

Lo stesso problema della causazione delle forze finì per essere risolto da Newton con l'ammissione dell'origine non meccanica di esse.

La causa dei vari tipi di forze presenti in natura sta in certi « principi attivi »¹⁰ (l'etere è un esempio di principio attivo) che a loro volta sono la manifestazione del potere spirituale di Dio nella realtà. Senza il costante intervento di Dio il mondo non potrebbe mantenersi. Dio non solo ha stabilito liberamente le leggi del mondo, ma interviene costantemente perché esse siano rispettate. L'intervento di Dio nel mondo era giustificato anche da un'altra considerazione: le discrepanze rilevate tra moti planetari previsti dalla teoria e moti effettivamente osservati ponevano in discussione la stabilità del sistema solare e costringevano ad ipotizzare un periodico intervento divino per ristabilire l'ordine. Leibniz ridicolizzò questo argomento che offriva l'immagine di un dio-orologiaio non molto abile nella sua arte, ma l'argomento non faceva che confer-

⁸ Cfr. McGuire - Rattansi, 1966; Austin, 1970; Koyré, 1972; Manuel, 1974; McGuire, 1978.

⁹ Cfr. Jacob, 1976; Redwood, 1976.

¹⁰ Si tratta della celeberrima *Query* 31 dell'*Opticks*. Sulla nozione di principio attivo hanno particolarmente insistito McGuire, 1968; Heimann - McGuire, 1971; Heimann, 1973.

mare per altra via la concezione di materia passiva propria dei newtoniani.

Nel pensiero newtoniano era però adombrata anche la possibilità di superare questa posizione. Concependo l'etere come principio attivo si poteva identificarlo quale fonte dell'attività del cosmo e come modello di natura autosufficiente. Era proprio questa la visione dell'etere che Newton presentava nelle sue speculazioni giovanili. Già nei primi anni del Settecento Toland vide con chiarezza questo possibile uso del newtonianesimo sviluppando l'idea di moto come essenziale alla materia, mirando così a spogliare la meccanica di Newton del suo sfondo metafisico, per togliere di mano agli apologeti un'arma decisiva. Sarà questa linea che prenderà il sopravvento nel corso del secolo.

2. - I PRIMI NEWTONIANI INGLESI.

I primi discepoli inglesi di Newton ammirarono, esaltarono e divulgarono l'opera astronomica del maestro, ma dal punto di vista teorico non la svilupparono. Essi erano per la maggior parte pensatori di non grande valore matematico (con l'eccezione di Taylor) o sperimentalisti puri, quando non erano addirittura digiuni di conoscenze scientifiche, come ad esempio Bentley, e produssero o lavori di fisica speculativa ricalcata sulle più ardite ipotesi dell'*Ottica*, oppure si sforzarono di tradurre sperimentalmente quelle idee che Newton non era ancora riuscito ad agganciare ad una solida base sperimentale. Al primo filone appartengono i lavori di Cheyne, John Keill e Freind sulla chimica¹¹, al secondo le ricerche sulle forze elettriche, magnetiche, sulla capillarità e l'attrito di Hauksbee, Brook Taylor e Desaguliers¹².

In entrambi i filoni il complesso quadro newtoniano appare semplificato e, con questo, chiarificato. La nozione di etere venne generalmente lasciata cadere in un imbarazzato silenzio, gli schemi esplicativi furono dominati da forze agenti a distanza e per di più vennero considerate unicamente forze attrattive, mentre nell'opera di Newton, anche se l'enfasi era indubbiamente posta sulle forze attrattive, erano presenti anche forze repulsive per spiegare l'elasticità dell'aria. Il difficile rapporto tra materia e forza venne con decisione risolto in favore di quest'ultima. Le varie forze interparticellari dal rango di ipotesi passarono

¹¹ Cheyne, 1702, 1703 e 1705; Keill, 1702; Freind, 1709.

¹² Cfr. Hauksbee, 1709; Taylor, 1715; Desaguliers, 1734-44.

a quello di verità dimostrate, così come venne accolta senza discussione l'idea dell'omogeneità inerziale di tutta la materia¹³.

Questo corpuscolarismo dinamico toccò il suo punto più elevato nell'opera di Stephen Hales il quale, con il suo studio sulle proprietà dell'aria¹⁴, introdusse con decisione nella scuola newtoniana le forze repulsive, concependo la natura come un dinamico equilibrio tra attrazione e repulsione. Tuttavia, attribuendo solo alle particelle d'aria la proprietà repulsiva, egli tende ad introdurre una distinzione tra due differenti tipi di materia. Il suo lavoro dimostrò quanto fosse fruttuosa l'esplorazione delle *Queries* di Newton ma manifestò anche, con le sue numerose riserve, le sue prudenti dichiarazioni, i suoi dubbi, la presa di coscienza delle difficoltà incontrate dal corpuscolarismo dinamico. Il programma di quantificare le forze dell'elettricità, del magnetismo, della capillarità, ecc. si era dimostrato troppo ambizioso tanto per le capacità teoriche quanto per quelle sperimentali dei newtoniani e nessun successo in questa direzione era stato ottenuto.

La stessa franca ammissione delle difficoltà incontrate dai tentativi di tradurre in termini quantitativi la visione newtoniana del mondo fondata sulla azione a distanza si trova nel celebre *Course of experimental philosophy* di Desaguliers. Questi volumi evidenziano una significativa evoluzione avvenuta tra i newtoniani inglesi sul problema del metodo. Desaguliers¹⁵ fu per molti anni il più famoso sperimentatore e divulgatore newtoniano. Nelle sue mani il metodo newtoniano subì un profondo rimaneggiamento: la via alla conoscenza del mondo non è più quella matematica, è divenuta la via dell'esperimento. Le « verità » che Newton aveva dimostrato per mezzo di un complesso rapporto matematica-esperienza sono divenute verità dimostrabili direttamente con l'esperimento e, per questo, ormai non più discutibili. Il rapporto tra matematica ed esperienza è stato rovesciato; la matematica non ha più funzioni ordinarie, l'ordine del mondo è scoperto dalla sperimentazione e la matematica interviene a posteriori a precisare tale ordine. Addirittura è possibile esporre la verità delle scoperte newtoniane facendo a meno della matematica (e infatti Desaguliers tenne famosissime pubbliche dimostrazioni a questo scopo). La visione strumentale della matematica era comune e tutti i newtoniani (con l'eccezione di Keill), ma con Desaguliers venne

¹³ Cfr. Thackray, 1970; Schofield, 1970.

¹⁴ Hales, 1727. Su Hales cfr. Allen - Schofield, 1980.

¹⁵ Su Desaguliers cfr. Torlais, 1937.

alla luce una considerazione della matematica quale strumento decisamente secondario.

3. - IL TRAPASSO SUL CONTINENTE: LA FISICA OLANDESE.

Nel terzo decennio del settecento la fisica olandese conobbe un periodo di grande splendore, destinato a oscurarsi rapidamente, ma che costituì un ponte importantissimo tra l'Inghilterra e il resto del continente. Il trapasso del newtonianesimo dall'Inghilterra in Olanda comportò la sua reinterpretazione in termini strettamente empiristi. Come in Desaguliers, conosciuto assai bene in Olanda, nei maggiori fisici di questo paese, da Nieuwentyt, Boerhaave, 'sGravesande a Van Musschenbroek, il rapporto matematica-esperienza appare rovesciato rispetto a quello presente nei *Principia*: l'esperimento scopre l'ordine del mondo, la matematica è solo uno strumento di precisazione di quell'ordine, di cui si può persino fare a meno. La verità delle leggi della fisica è dimostrata direttamente dall'esperienza, le ipotesi vanno bandite per lasciar posto ai soli fatti accertati induttivamente¹⁶.

La diffidenza tipica del pensiero olandese verso l'intromissione della metafisica nella scienza fu la base di partenza per una critica del tentativo di Newton di fondare con le *Regulae* la certezza della via empirica. Sia Nieuwentyt che Musschenbroek rigettarono¹⁷, in quanto non controllabile, l'assioma della semplicità e uniformità della natura, e 'sGravesande sottopose a una riconsiderazione globale il problema dell'empirismo nella scienza. Per 'sGravesande¹⁸ la scienza empirica non gode della stessa evidenza della matematica, per essa è garantita solo un'evidenza morale fondata sull'analogia e questa, a sua volta, con logica giusnaturalistica, ha una garanzia divina, poggiante sulla obbligazione che costringe Dio a rispettare la propria natura: noi siamo costretti a ragionare nelle scienze empiriche per analogia, « ma se questa è stata la volontà del Creatore, egli deve aver anche voluto tutto ciò che è necessario perché tali ragionamenti per analogia risultino corretti e

¹⁶ Sui caratteri della scienza olandese tra '600 e '700 cfr. oltre ai classici lavori di Crommelin, 1925 e Brunet, 1926 anche Bell, 1947; Elzinga, 1972; Lunsingh Scheurleer e Posthumus Meyjes, 1975; Pater, 1977; Snelders, 1978. Per una rassegna cfr. Monna, 1976.

¹⁷ Nieuwentyt, 1719, pp. 582-3; Van Musschenbroek, 1744, p. 27.

¹⁸ Su 'sGravesande cfr. Gori, 1972 con ricca bibliografia.

fondati, egli cioè deve governare l'universo mediante leggi fisse e costanti »¹⁹.

Al di là della particolare soluzione giusnaturalista, la critica di 'sGravesande poneva in evidenza che la concezione empirista di scienza non può garantire la propria certezza teoricamente, lo può fare solo pragmaticamente. Laddove poi lo scienziato non può neppure seguire i criteri che consentono il raggiungimento della certezza morale, cioè è costretto a ricorrere all'uso di ipotesi, allora la scienza che egli produce è conoscenza solo probabile.

Rispetto al corpuscolarismo dinamico degli inglesi dei primi decenni del secolo, gli olandesi reintrodussero spiegazioni fluidistiche e, sia pure in modo un po' nascosto, l'idea di materia composta da elementi qualitativamente differenti. Ciò fu in gran parte dovuto all'influenza della chimica tedesca guidata da Stahl²⁰ che, contro il programma newtoniano in chimica, rivendicava un ritorno alla chimica dei principi, alla nozione di elementi chimici differenziati qualitativamente e portatori di qualità specifiche, e la rinuncia a modelli corpuscolari e alla misura delle forze di affinità tra tali corpuscoli. L'influenza della chimica stahliana si risentì soprattutto nella trattazione del problema chimico allora più importante, quello della natura del fuoco, concepito dagli olandesi, in particolare negli *Elementa Chemiae* di Boerhaave²¹, una sostanza a sé stante, con molti caratteri, ad esempio la probabile mancanza di peso, che lo rendono assimilabile all'etere newtoniano. Il fuoco di Boerhaave diventerà in effetti il modello per la trattazione sostanzialistica delle varie qualità della materia e l'antecedente di tutti i vari fluidi sottili.

4. - LA PENETRAZIONE DI NEWTON IN FRANCIA.

La teoria newtoniana fu conosciuta in Francia attraverso la mediazione dei fisici olandesi, ma già in precedenza Newton era stato accolto come grande matematico e grande sperimentatore grazie a Varignon e a Geoffroy, che seppe guadagnare all'*Ottica* l'influentissima adesione di Malebranche. In fondo, un libro sperimentale come l'*Ottica*, tradotto in

¹⁹ 'sGravesande, 1774, vol. II, p. 341.

²⁰ Sulla chimica tedesca del '700 cfr. Hufbauer, 1971 e 1976. Su Stahl cfr. Lemoine, 1864; Metzger, 1926, 1927-28 e 1930; King, 1964; Oldroyd, 1973.

²¹ Boerhaave, 1732. Dal punto di vista metodologico è fondamentale però un'altra opera: Boerhaave, 1715.

francese già nel 1720, si inseriva senza molti problemi in un ambiente caratterizzato dalla fortissima tradizione sperimentalista della *Académie des Sciences* seicentesca che coesisteva con un quadro culturale cartesiano il quale aveva ormai perso la rigidità tipica dei primi allievi di Cartesio, quali Regis. Per l'accettazione in terra di Francia del Newton dei *Principia* occorreva superare ben più gravi difficoltà. Da un lato occorreva reinterpretare Newton in termini empiristi e renderlo così compatibile con lo sperimentalismo della *Académie*, dall'altro lato risolvere l'opposizione tra l'astronomia newtoniana fondata sull'azione a distanza e la fisica vorticistica cartesiana²².

Il primo compito fu assolto grazie alla conoscenza della lettura di Newton compiuta dagli olandesi, di cui si fece efficace banditore Voltaire, il secondo problema si risolse con un grande dibattito teorico su due questioni: quella della compatibilità tra l'ipotesi cartesiana (e leibniziana) dell'esistenza di vortici planetari e le leggi di Keplero (compatibilità che Newton aveva dimostrato essere impossibile) e quella della forma della terra.

Sul primo problema intervennero esclusivamente cartesiani e leibniziani che, a malincuore, attorno al 1740 furono spinti ad ammettere l'insostenibilità dei vortici di fronte all'ostacolo costituito dalle leggi di Keplero, nonostante continuassero a ritenere l'azione a distanza una nozione filosoficamente insoddisfacente²³. Il secondo problema, che vide opporsi Maupertuis e Clairaut a Cassini, si risolse con una famosa spedizione in Lapponia per più precise misure geodetiche che dimostrò esser la forma della terra quella di uno sferoide appiattito, come sostenevano i newtoniani. Quest'evento contribuì in modo decisivo all'accettazione in Francia della teoria dei *Principia*²⁴.

La discussione teorica avviata da questi dibattiti produsse una più attenta ricognizione della meccanica newtoniana che negli anni '30 cominciò in tutto il continente ad essere studiata, approfondita, rielaborata in un processo che condusse alla edificazione della meccanica razionale.

²² I lavori classici circa l'impatto di Newton sulla cultura continentale, in particolare quella francese, sono Brunet, 1926 e 1931. Recenti studi hanno notevolmente mutato le prospettive presenti in quei lavori. Cfr. Cohen, 1964 e 1968; Lohne, 1968; Taton, 1969; Hall, 1975 e 1976; Boas Hall, 1976; Beer, 1978; Guerlac, 1979; Gori, 1979.

²³ Testo fondamentale sull'argomento è Aiton, 1972.

²⁴ Sul dibattito teorico relativo alla forma della Terra è ancora fondamentale Todhunter, 1873.

5. - IL NEWTONIANESIMO DELLA MECCANICA RAZIONALE.

La costruzione della meccanica razionale settecentesca fu opera di scienziati continentali di formazione prevalentemente matematica e generalmente scarsamente interessati alla sperimentazione, con caratteri, quindi, opposti a quelli degli studiosi che avevano sviluppato e diffuso il pensiero newtoniano nei primi decenni del secolo. Maupertuis, Clairaut, Euler, i Bernouilli, d'Alembert non compirono una semplice estensione delle leggi del moto di Newton, ma formularono principi nuovi (basti pensare alle « equazioni di Newton », opera di Euler, o al principio di minima azione) ed elaborarono nuovi metodi per la loro applicazione a settori quali la fluidodinamica, la dinamica del corpo rigido e la meccanica dei mezzi elastici²⁵.

L'inserimento dell'empirismo newtoniano nella concezione razionalista di scienza (cartesiana o leibniziana) di interessi marcatamente teorici avvenne in un primo tempo con la sussunzione della meccanica in un quadro filosofico razionalista. I principi della meccanica furono intesi come verità di ragione, dimostrabili a priori; tutta la meccanica fu ritenuta garantita non dal controllo dell'esperienza ma dalla deduzione analitica compiuta a partire dai principi. Il razionalismo garantiva alla meccanica quella certezza che l'empirismo newtoniano non sembrava in grado di conferirle. Lo strumentalismo matematico venne lasciato cadere e sostituito con un realismo matematico che fece diventare la teoria una parte della matematica e rinviare la sua conferma empirica a un futuro non ben definito.

Il modello meccanico venne a perdere quei gradi di libertà che possedeva nel pensiero newtoniano. Non fu più considerato costruito « qualsiasi », ma eretto secondo regole precise: per il filone Euler-Bernouilli esso si costruisce per deduzione a partire dalla teoria, per i francesi è frutto della astrazione compiuta a partire dalla realtà fenomenica. In entrambi i casi il modello non è più un costruito provvisorio e ipotetico che fa da tramite tra teoria ed esperienza, ma ha la funzione di rappresentare qualche aspetto parziale del comportamento della realtà. Ma in quanto rappresentazione parziale il modello non può assolutamente essere confuso con la realtà, è sempre incompleto e questa incompletezza

²⁵ Sulla storia della meccanica settecentesca ai lavori ormai classici di Dugas, 1950; Truesdell, 1954, 1960, 1960-62 e 1968 si è di recente aggiunto un interessantissimo lavoro: Szabó, 1977.

lo rende, in linea di principio, impotente di fronte al compito di organizzare, spiegare compiutamente l'esperienza. L'esperienza non va « salvata », ha il ruolo di scontrarsi con il modello, perché proprio dal rilevamento delle contraddizioni esistenti tra la teoria e l'esperienza, dalla falsificazione della teoria nascono le indicazioni per l'ulteriore arricchimento del modello. Se per Newton l'esperienza era la garanzia della teoria, ora la garanzia è vista nei principi della meccanica e una smentita da parte dell'esperienza non è affatto paventata, anzi è inevitabile e fruttuosa²⁶.

Il modello, inoltre, va ben distinto dalla realtà, non solo perché coglie soltanto alcuni aspetti del reale, ma anche perché gli aspetti colti non sono necessariamente i più « profondi », bensì quelli più utili ai fini della costruzione di una particolare teoria. Così, ad esempio, in idrostatica vi è nella maggior parte degli autori la convinzione « metafisica » che la struttura ultima dei fluidi sia di tipo particellare, ma per l'edificazione della teoria al modello discontinuo newtoniano è preferito quello continuo che coglie alcuni aspetti del comportamento dei fluidi, i quali non saranno forse i più profondi ma sono certo i più adatti al lavoro di edificazione teorica²⁷.

Lo sviluppo della meccanica newtoniana non fu affatto una marcia trionfale, e neppure tranquilla, ma si realizzò attraverso momenti di difficoltà profonda, difficoltà che conobbe anche il nucleo « forte » della scienza newtoniana, l'astronomia. Qui il rinvio ad un futuro più o meno prossimo delle conferme sperimentali non poteva essere accolto senza

²⁶ Euler, rilevando le notevolissime discrepanze esistenti tra la trattazione teorica dei getti delle fontane e i dati dell'esperienza osserva: « Nonostante che per questa ragione la teoria sia spesso non poco sospetta agli uomini pratici, dal momento che, tuttavia, essa appoggia sui più certi principi della meccanica, la sua verità non viene indebolita in alcun modo da questo disaccordo, ma piuttosto occorre cercare le cause della differenza nelle circostanze che non vengono considerate correttamente nella teoria. Se di fatto nel suo movimento l'acqua urta contro un ostacolo che non è stato preso in considerazione nella teoria, non c'è da stupirsi se i fenomeni corrispondono poco alla teoria » (Euler, 1954, p. 171).

²⁷ Ancora Euler è particolarmente chiaro su questo punto: « Che le particelle più piccole di un fluido non abbiano alcun legame tra di loro e che esse si trovino in un movimento continuo è forse vero, ma questa verità sarebbe assolutamente sterile in rapporto alle ricerche di cui vogliamo trattare... Poiché questa proprietà essenziale dei fluidi deve fornire i principi dell'idrostatica, io non la trovo se non in questa qualità: noi sappiamo che una massa fluida non è in equilibrio a meno che non sia sollecitata in tutti i punti della sua superficie da forze uguali e perpendicolari alla superficie stessa » (Euler, 1954, p. 3). Sulle vicende dello studio dei fluidi cfr. Rouse - Ince, 1957; Tokaty, 1971.

snaturare completamente l'immagine di Newton. Quando negli anni '40 si intraprese uno studio serio e dettagliato dell'astronomia newtoniana²⁸ ci si accorse che l'immagine di un cosmo-orologio di cui Newton aveva colto con sicurezza e precisione le leggi di funzionamento era un ottimo strumento di propaganda ma non corrispondeva alla realtà. Discrepanze tra teoria e esperienza e enormi difficoltà analitiche si evidenziarono. Al centro delle discussioni fu la teoria del moto della Luna²⁹, attorno alla quale si aprì nel 1749 una clamorosa polemica tra Clairaut, d'Alembert, Euler e Buffon, durante la quale fu posta seriamente in forse la validità della stessa legge di gravitazione universale. Ciò fu un duro colpo per i sostenitori di una concezione razionalista della meccanica che li costrinse a prendere in maggior considerazione le imperfezioni, le incertezze e i limiti di ogni nostra forma di conoscenza³⁰.

Contemporaneamente, il filone del newtonianesimo sperimentale ispirantesi all'*Ottica* passava dall'approccio del corpuscolarismo dinamico ad un approccio fluidistico, favorito dalla pubblicazione delle riflessioni giovanili di Newton sull'etere, sino al 1744 sconosciute. Questo passaggio al mondo del continuo si rivelò fruttuoso, soprattutto nel campo dell'elettricità con l'opera di Franklin³¹. Esso si accompagnò all'abbandono della idea di omogeneità inerziale della materia: fuoco, etere e fluido elettrico (a volte identificati) furono con sempre maggior chiarezza concepiti come sostanze qualitativamente diverse dalla materia ordinaria e in chimica il pensiero di Sthal conobbe un grande successo, sia in Inghilterra che in Francia³². Fu un *revival* degli elementi aristotelici qualitativamente differenziati che, in aperta polemica con il programma newtoniano, sfociò nella rivendicazione della indipendenza della chimica dalla tutela soffocante della fisica.

²⁸ Sui problemi dell'astronomia newtoniana dopo il 1740 è fondamentale Wilson, 1980-81.

²⁹ Cfr. Euler - Mayer, 1971; Newton, 1975; Waff, 1975.

³⁰ D'Alembert scriveva a Cramer il 21 settembre 1749: « Sono attratto dalla vostra osservazione che in questioni così complicate [perturbazioni e precessioni] è quasi necessario che la probabilità venga in aiuto della certezza. Questa osservazione mi pare molto vera, molto fortunata e molto nuova. Mi ha suggerito molte riflessioni metafisiche ... riguardo al progresso del pensiero nel suo ragionamento » (cit. in Hankins, 1970, p. 77).

³¹ È d'obbligo il riferimento a Cohen, 1956. Cfr. anche Heilbron, 1979.

³² Per le vicende inglesi cfr. Schofield, 1970 e Thackray, 1970; per quelle della chimica francese cfr. Contant, 1952; Guerlac, 1959; Rappaport, 1961; Smeaton, 1966; Mayer, 1970; Fichman, 1971; Abbri, 1978.

Tanto il ritorno a spiegazioni eteree, quanto quello alla differenziazione qualitativa della materia rappresentarono una rivolta contro le pretese matematizzanti del corpuscolarismo dinamico dei primi decenni del secolo, che impose all'attenzione degli uomini colti un filone di newtonianesimo qualitativo e sperimentalista ispirato all'*Ottica* e che sfidava anche, piú o meno esplicitamente, il filone della meccanica razionale ispirata ai *Principia*.

La sfida dello sperimentalismo e le difficoltà interne al filone matematizzante generarono nella seconda metà del secolo una nuova concezione di scienza razionale.

6. - LE ORIGINI DELLA SCIENZA LAPLACIANA.

Nella seconda metà del settecento la visione razionalista della scienza fondata sulla estensione analitica della meccanica non appariva piú sostenibile sia per i crescenti successi della fisica sperimentale fondata metodologicamente sull'*Ottica* e teoricamente sulla nozione di fluido, sia per le difficoltà incontrate dallo sviluppo della meccanica, in primo luogo nelle sue applicazioni all'astronomia.

Questa affermazione può apparire paradossale perché solitamente la storia dell'astronomia nella seconda metà del settecento è presentata come storia di grandi successi che assicurarono la piena affermazione della teoria newtoniana. Con Laplace e con Lagrange fu assicurata teoricamente la stabilità del sistema solare e l'idea di un dio garante di tale stabilità divenne una « ipotesi non necessaria », sostituita, in tutto e per tutto, dall'ipotesi della gravitazione universale. Tutto questo è naturalmente vero, ma dal punto di vista della metodologia scientifica assai piú influenti dei successi ottenuti fu il modo in cui questi furono conseguiti.

I problemi connessi con il moto dei pianeti (fondamentalmente il problema dei tre corpi) si rivelarono insolubili per via analitica diretta. Le soluzioni furono ottenute tutte per via indiretta, con metodi di soluzione approssimata che legarono indissolubilmente i successi dell'astronomia al calcolo numerico, alla teoria delle serie, alla teoria degli errori, al calcolo delle probabilità³³. Ciò produsse il passaggio da una concezione razionalista di scienza alla visione di una scienza approssimata, strutturalmente piegata all'ordinamento della realtà empiricamente data,

³³ Questa vicenda è magnificamente raccontata in Wilson, 1980-81. Cfr. anche Levy, 1964, oltre all'ormai classico Pannekoek, 1961.

scienza probabile, e si risolse, in definitiva, in un riavvicinamento tra il filone sperimentalista ispirato all'*Ottica* e quello matematico discendente dai *Principia*.

Già la coesistenza tra razionalismo ed empirismo appariva problematica in uno dei testi piú arrogantemente razionalisti di tutto il secolo, il *Traité* di d'Alembert³⁴. Qui viene sostenuta una visione della fisica divisa in due parti ben distinte: la meccanica delle azioni per contatto e la fisica delle azioni a distanza. Mentre la prima è scienza razionale e le sue leggi sono verità necessarie, la seconda è empirica e le sue leggi sono verità contingenti. Era questo un tentativo di formulare una meccanica da cui fosse esclusa la nozione di forza e la trattazione dei problemi fosse ridotta a problemi di geometria, compimento di un programma cartesiano rin vigorito dalla critica di Malebranche e di Hume, che era però costretto ad abbandonare la teoria della gravitazione al di fuori dei confini della scienza razionale.

Questa rigida separazione tra leggi razionali e leggi empiriche era difficilmente sostenibile e nella voce « attrazione » della *Encyclopédie* d'Alembert, oltre a definire l'urto scarsamente comprensibile, rendendo così oscuro il fondamento di tutta la sua meccanica razionale, non esclude la possibilità di considerare l'attrazione come una « proprietà primordiale della materia »³⁵ perché così ci portano a ritenere osservazioni e calcoli. Ma affidare all'esperienza il diritto di indicare le proprietà primordiali della materia è argomento potenzialmente disastroso per la distinzione tra leggi necessarie e leggi contingenti in quanto fa perdere alle leggi che trattano delle proprietà primordiali della materia tutte le ragioni dimostrative che conferiva loro la tradizionale definizione razionalista di scienza.

L'argomento fu infatti ripreso dall'allievo prediletto di d'Alembert, Condorcet³⁶. Nel 1768 questi, mantenendo la distinzione tra leggi necessarie e leggi contingenti, pose tra la legge di gravità e le leggi necessarie una semplice differenza di grado, non di qualità. La legge di gravità è forse una legge necessaria un po' piú difficile da scoprire delle leggi dell'urto³⁷. In questo modo la distinzione tra i due tipi di leggi non è

³⁴ D'Alembert, 1743. Sul razionalismo di questo testo ha particolarmente insistito Hankins, 1970. Per una critica cfr. Cane, 1976.

³⁵ Diderot e d'Alembert, 1968, p. 196.

³⁶ Sui rapporti tra Condorcet, d'Alembert e Laplace ha particolarmente insistito Baker, 1975.

³⁷ Condorcet, 1768, p. 5.

più assoluta, la scienza razionale vede svanire il confine che la separava dalla scienza empirica. L'integrità della tradizionale definizione razionalista di scienza è minata dall'inserimento della legge di gravità tra i principi della meccanica.

Ma nello stesso scritto Condorcet esplicitava un'altra assunzione che era implicita nella posizione di d'Alembert. La visione razionalista postulava un ordine nell'universo determinato dal moto della materia, ma l'ammissione di una scienza empirica, contingente, accanto ad una scienza razionale e, a maggior ragione, lo sfumare di questa in quella significavano l'inconoscibilità di quell'ordine, che risultava conoscibile solo ad una intelligenza superiore³⁸. Il tema della conoscenza perfetta, del determinismo universale accessibile solo ad una conoscenza superiore era ovviamente ben presente anche nei pensatori più vicini al razionalismo, ma in costoro tra conoscenza divina e conoscenza umana si poneva solo una differenza di estensione, in Condorcet si viene invece a porre una differenza di qualità, necessaria conoscenza nell'un caso, contingente nell'altro.

Lo scontro tra razionalismo cartesiano ed empirismo newtoniano si risolveva così in Condorcet in un compromesso: il postulato razionalista di un universo determinato fu mantenuto a prezzo di ammettere che la conoscenza umana delle sue leggi poteva essere solo contingente.

A questo stesso risultato approdava la riflessione di Laplace (a sua volta allievo di d'Alembert), vi approdava come riconoscimento del modo indiretto, approssimato in cui la teoria più potente, la dinamica newtoniana, riusciva a spiegare l'oggetto più semplice, il sistema solare. Nel 1773 Laplace compì la sua prima affermazione sul determinismo universale in termini quasi identici a quelli di Condorcet e, cosa estremamente significativa, la pubblicò insieme alla sua trattazione delle irregolarità del moto dei pianeti sulla base della teoria gravitazionale con metodi approssimati. « Lo stato presente del sistema della Natura è chiaramente il risultato di quanto vi era nel precedente istante, e se noi immaginiamo una Intelligenza capace di abbracciare tutte le relazioni fra gli esseri nell'Universo in un dato momento, essa sarebbe capace di de-

³⁸ « Un' Intelligenza che conosca lo stato di tutti i fenomeni in un qualunque momento, le leggi che governano la materia e l'effetto di queste leggi dopo un qualunque periodo di tempo, avrebbe una perfetta conoscenza del sistema del mondo. Questa conoscenza è al di là dei nostri poteri: ma essa è il fine verso cui tutti gli sforzi dei filosofi matematici devono essere diretti, e verso cui essi si avvicineranno sempre più, senza sperare di raggiungerla » (Condorcet, 1768, p. 5).

terminare per ogni momento del passato o del futuro le loro rispettive posizioni, i movimenti e le affezioni generali »³⁹. Il « manifesto laplaciano », solitamente considerato espressione di una concezione trionfalistica e acritica del potere della meccanica, fu in realtà nella sua originaria ispirazione il riconoscimento dei limiti della meccanica, dell'insostenibilità delle ambizioni della meccanica razionale.

Ma in fondo, insistendo semplicemente sui limiti della scienza, Laplace non faceva altro che riprendere un tema già ampiamente diffuso nel pensiero francese della seconda metà del secolo. Il *Traité des systèmes* di Condillac aveva incontrato grande fortuna e l'insistenza sui limiti della nostra conoscenza era un aspetto fondamentale del sensismo condillaciano, che largo riflesso aveva avuto nell'*Encyclopédie* e anche negli *Eléments* di d'Alembert. La visione probabilista della scienza empirica era anch'essa presente, derivando da 'sGravesande, in Buffon e nell'*Encyclopédie*⁴⁰. Ciò che caratterizza il discorso laplaciano è il fatto che in Laplace il particolare modo in cui si andava sviluppando l'astronomia (e la scienza tutta) non suggerì solo la crisi dell'ideale conoscitivo razionalista ma indicò anche, in positivo, una nuova via di conoscenza che, abbandonato il mito della deduzione analitica dei principi della meccanica, usa tutte le potenzialità strumentali della matematica per comprendere la realtà. Ciò si mostra con estrema chiarezza a proposito della probabilità: coloro che prima di Laplace ne avevano parlato a proposito della fisica avevano usato un concetto filosofico per indicare un limite delle conoscenze empiriche; in Laplace la nozione filosofica di probabilità si trasformò in quella strumentale di calcolo delle probabilità, e il calcolo non serve a porre in rilievo la nostra ignoranza, bensì a far progredire la nostra conoscenza. Per Laplace l'uso del calcolo probabilistico non significa affatto la rinuncia alla ricostruzione (certo indiretta) di un ordine del mondo⁴¹.

³⁹ Laplace, 1776. Questa prima formulazione del determinismo laplaciano è stata discussa ampiamente da Gillispie, 1963 e 1972; Hahn, 1967, 1968 e 1974; Stiegler, 1974; Baker, 1975, p. 178 e ss.; Grattan-Guinness, 1978, p. 280. Stranamente in un articolo specificatamente dedicato all'argomento dell'ipotesi dell'Intelligenza assoluta Orietta Pesenti Cambursano, 1961, sembra ignorare il testo di Laplace del 1773.

⁴⁰ Cfr. Buffon, 1777 e la voce *Induction* dell'*Encyclopédie* dovuta all'abate Yvon.

⁴¹ Sul calcolo probabilistico in Laplace cfr. Stigler, 1975 e 1978; Sheynin, 1976 e 1977.

7. - IL NUOVO AMBIENTE SCIENTIFICO FRANCESE ALLA FINE DEL SETTECENTO.

La visione della scienza di Laplace, aperta all'esperienza, approssimata, non assoluta ma proprio per questo sempre perfettibile, che alla matematica chiede in primo luogo precisione calcolistica, trovò negli ultimi decenni del secolo in Francia un ambiente particolarmente favorevole grazie al sorgere di spiccati interessi pratico-applicativi nella *Académie*⁴², favoriti e stimolati dalla politica della corona prima, della rivoluzione poi.

Si affermò un gruppo di scienziati-ingegneri⁴³, quali Borda, Lazare Carnot, Prony, Bossut e Coulomb, che posero alla scienza nuove richieste, fundamentalmente quella di un approccio rigoroso, preciso e determinato ai problemi da risolvere, approccio che essi non trovavano certo nella tradizione della meccanica razionale, né in quella della fisica sperimentale, rimasta ancora prevalentemente qualitativa. La polemica contro la meccanica razionale che aveva prodotto teorie forse belle per la ragione ma sicuramente inutili per la soluzione di problemi concreti fu dura. Effettivamente l'approccio che proponevano questi uomini era per molti versi antitetico a quello dei grandi geometri dei decenni precedenti. Non si trattava però neppure di appoggiarsi al filone sperimentalista, cercando semplicemente di dare una matematizzazione della *Physique expérimentale*, « perché l'esperienza stessa acquista nuove definizioni ed è compiuto differentemente e per differenti ragioni. La matematica deve dare soluzioni rilevanti per la fisica e l'esperienza deve essere pertinente »⁴⁴.

Era una concezione di scienza nuova rispetto ad entrambe le tradizioni precedenti che poneva nuovi *standard* di rigore e nuove finalità tanto alla matematica quanto all'esperienza. Matematica ed esperienza devono trovare una feconda unificazione che produca una conoscenza dotata della chiarezza e della precisione del linguaggio matematico, ma che contenga anche una capacità di comprensione puntuale e determinata dell'empiria e sia usabile nella pratica.

⁴² Sulla storia dell'*Académie des Sciences* è fondamentale Hahn, 1971. Cfr. anche Chapin, 1968. Per il '700 cfr. Salomon - Bayet, 1978.

⁴³ Su questo gruppo si vedano Mascart, 1919; Hamilton, 1938; Walckenaer, 1940; Hahn, 1964 a e 1964 b; Gille, 1964; Gillispie, 1971; Gillmor, 1971; Heyman, 1972.

⁴⁴ Gillmor, 1971, p. 83.

La stessa *Mécanique analytique* di Lagrange⁴⁵, che pure fu il coronamento di tutte le ricerche di meccanica razionale settecentesche e sulla quale tornerò in seguito, manifesta un radicale spostamento rispetto all'ideale dominante nella prima parte del secolo. Compito fondamentale della teoria non è più quello di ricercare principi sempre più generali, bensì la scoperta di metodi adatti « alla risoluzione di ogni problema ». L'interesse non è più per la fondazione razionale della meccanica, ma è rivolto ai risvolti operativi della scienza.

Anche lo sperimentalismo qualitativo, da parte sua, stava attraversando una fase di stagnazione. Teorie qualitative e spesso vaghe come quelle di Franklin e Nollet⁴⁶ si rivelavano incapaci di produrre reali progressi e si faceva strada l'esigenza di articolare in termini più rigorosi i programmi sperimentali se non produrre addirittura, laddove possibile, una matematizzazione dell'esperienza⁴⁷. Questa tendenza alla rigorizzazione dell'esperienza nei settori di classica pertinenza del filone sperimentale si manifestò in Francia con i lavori di Coulomb su elettricità e magnetismo, le misurazioni sulle forze di affinità di Guyton de Morveau, le grandi esperienze che formarono la base sperimentale dell'opera di Lavoisier, le misurazioni con il calorimetro (vero atto di nascita della chimica-fisica) compiute in collaborazione da Lavoisier e Laplace, ma fu ampiamente presente anche in Inghilterra nel lavoro sui gas, l'elettricità e il calore di grandi sperimentatori come Black, Cavendish e Priestley⁴⁸.

Dal punto di vista teorico il rinnovamento della fisica sperimentale condusse a un deciso ritorno all'azione a distanza di contro alla grande fortuna dei fluidi eterei nella parte centrale del secolo. I fluidi sottili non scomparvero ma furono reinterpretati come fluidi dinamici, formati da corpuscoli di dimensioni irrilevanti o nulle, centri di forze agenti a distanza. Non fu invece recuperata l'altra idea centrale nella visione della materia di Newton, l'omogeneità della materia. Su questo punto, anzi, la rivoluzione di Lavoisier fece esplodere la differenziazione qualitativa della materia costruendo una teoria fondata su una trentina di elementi qualitativamente differenti. Forse è eccessivo vedere Lavoisier

⁴⁵ Lagrange, 1787.

⁴⁶ Su Nollet cfr. Torlais, 1954; Benguigui, 1981.

⁴⁷ Sulle vicende della precisione sperimentale della scienza settecentesca cfr. Guichard, 1937; Guerlac, 1961a; Daumas, 1963; Hackmann, 1979.

⁴⁸ Su Guyton cfr. Bouchard, 1938; Smeaton, 1961, 1963 e 1967; Grosland, 1963. Sulle misure calorimetriche di Lavoisier e Laplace cfr. Ludwig-Smeaton, 1974; Guerlac, 1976; sullo sperimentalismo inglese cfr. Donovan, 1975.

come colui che portò a compimento la « reazione settecentesca neoaristotelica contro il meccanicismo » newtoniano iniziata da Becher e Stahl⁴⁹, ma è certo che la visione tradizionale di un Lavoisier che si libera dall'influenza maligna dello stahlismo e ritorna sulla retta via di Boyle e Newton è insostenibile. Pur non sfidando apertamente il programma newtoniano di misurazione delle forze e pur non impegnandosi sulla questione della natura della materia, aggirandola con una definizione operativa di elemento chimico, l'opera di Lavoisier lasciò di fatto cadere i due capisaldi del programma newtoniano per la chimica, forze di affinità e omogeneità della materia, per procedere attraverso una via di matematizzazione mediante il peso delle sostanze reagenti che era differente da quella tentata dai newtoniani. Egli riorientò la chimica francese in modo tale che negli ultimi quindici anni del secolo il programma newtoniano, che pure sembrava fiorentissimo, venne messo in disparte⁵⁰.

Questa conclusione contribuiva al definitivo crollo della concezione apriorica della matematica e della meccanica, allo stabilimento nella Francia di fine secolo di un ambiente scientifico nel quale le teorie avevano rotto gran parte dei loro legami con la metafisica ed erano criticamente intese quali strumenti di ordinamento e di chiarificazione dell'esperienza, un ambiente che, a ragione, è stato definito « prepositivista »⁵¹ e che trovava in Laplace il suo più significativo esponente sul piano scientifico.

8. - LA FISICA LAPLACIANA.

Laplace⁵² rappresentò una sintesi dei due grandi filoni di newtonianesimo settecentesco, lo sperimentale e il razionalista e, in questo

⁴⁹ Schofield, 1971, p. 51. Sul ritorno di forme culturali pre-newtoniane nel pensiero scientifico francese settecentesco cfr. anche Debus, 1981.

⁵⁰ Nella vastissima bibliografia esistente su Lavoisier ricorderemo alcuni recenti studi oltre al classico Guerlac, 1961 b: Le Grand, 1972; Koheler, 1972 e 1975; Siegfried, 1972; Perrin, 1973; Szabadváry, 1973 Guerlac, 1975. Interessanti dal punto di vista filosofico, assai meno da quello storiografico, sono Musgrave, 1976 e McCann, 1978.

⁵¹ Il termine è stato coniato da Gouhier, 1933-41, II, pp. 5-62.

⁵² La figura di Laplace, pur tanto fondamentale, è pochissimo studiata. Il testo di riferimento obbligato, ma insufficiente, è ancora Andoyer, 1922. Recentemente Grattan-Guinness, 1978, ha curato la redazione di un'ampia nota biografica che, pur nella mancanza di unitarietà, rappresenta un indubbio progresso. Altri lavori recenti su Laplace sono, oltre a quelli già citati su punti specifici: Pesenti Cambursano, 1967; Frankel, 1974; Merlau Ponty, 1976; Stigler, 1978.

senso, segnò un riavvicinamento alla complessità dell'originaria impostazione newtoniana del problema del rapporto tra matematica ed esperienza. Ma ancor più che non in Newton fu in lui presente la coscienza della difficoltà presentata dal lavoro di scoperta di un ordine del mondo. Nonostante tutti i suoi toni trionfalistici, nonostante molte volte la sua penna si lasci troppo trascinare dall'entusiasmo, la visione dei successi ottenuti dal newtonianesimo nel corso del secolo non si risolse in Laplace nella convinzione di aver scoperto l'ordine del mondo. Per lui non esiste (o comunque non ci è noto) un mondo privilegiato preciso e ben delineato, ma esiste il mondo dei fenomeni, con tutta la loro complessità e con tutta la loro non-chiarezza.

In questo quadro anche il modello cessa di avere i caratteri rigidi e apriorici che aveva assunto nella meccanica razionale per ritornare, come in Newton, ad essere strumento di mediazione tra teoria ed esperienza. Tuttavia, a differenza di Newton, il modello non è più concepito come costruzione « qualsiasi », esso è soggetto ad un vincolo, quello di dover tendere alla costruzione di una unificazione del campo della fisica. Se in Newton l'immagine del mondo (costituzione dei fluidi, natura dell'elettricità, del magnetismo, delle reazioni chimiche, ecc.) poteva ancora presentarsi come un insieme disarticolato e ambiguo, la cui unificazione e chiarificazione erano demandate a un futuro non precisato, in Laplace l'unificazione dell'immagine del mondo appariva invece indispensabile e matura.

Appariva indispensabile per un motivo di ordine filosofico che costituiva uno dei pilastri della cultura illuministica francese: l'idea di una grande catena dell'essere, di natura interconnessa, unitaria e semplice nei suoi principi costitutivi, da comprendere per mezzo di una scienza analogamente unitaria e semplice nelle sue premesse generalissime. L'ideale di una scienza capace di cogliere la natura come un « unico fatto » era di schietta derivazione cartesiana e aveva dominato in Francia sia nella sua variante epistemologica con d'Alembert, che aveva reinterpretato l'idea di catena dell'essere in termini di catena di teorie, sia in quella « realista » del materialismo e di Buffon⁵³. La ricerca costante di principi generali unificanti fu caratteristica del secolo dei lumi e venne pienamente accolta, anzi enfatizzata, da Laplace. La sua giovanile enuncia-

⁵³ Su questo tema cfr., oltre al classico Lovejoy, 1936: Vartanian, 1956; Butts, 1959; Bell, 1961, p. 128 ss.; McRae, 1961; Casini, 1964; GUSDORF, 1971, p. 159 ss.

zione sopra citata circa l'Intelligenza superiore esprimeva appunto la fede in una natura interconnessa e semplice nei suoi principi.

Ma nel 1773 l'unificazione della fisica appariva certo compito filosoficamente di primo piano, e tuttavia non ancora maturo. Si è già detto che questa prima enunciazione del determinismo laplaciano manifestava in primo luogo la preoccupazione per la difficoltà enormi poste sulla via del raggiungimento di una conoscenza adeguata alla semplicità dell'oggetto. Il vero e proprio programma laplaciano, quel famosissimo « manifesto del meccanicismo » tanto spesso citato, verrà formulato molti anni più tardi. Nella prima edizione (1796) della *Exposition du Système du monde*⁵⁴ esso è ancora abbozzato in forma filosofica e solo nel 1805⁵⁵ l'affermazione di principio sarà trasformata in vero e proprio programma di ricerca, quello della « fisica molecolare », su cui Laplace e i suoi allievi lavoreranno negli anni seguenti. Ci vollero più di trent'anni perché Laplace passasse dal ritenere il proprio programma filosoficamente corretto al considerarlo anche maturo.

La fisica molecolare tentava un'unificazione dei fenomeni fisici e chimici partendo da un modello caratterizzato da forze centrali, attrattive e repulsive, agenti a distanza tra particelle. Elemento essenziale del modello era un sistema di fluidi imponderabili, atti ad interpretare i fenomeni ottici, termici, elettrici e magnetici. I fluidi erano a loro volta formati da particelle mutuamente repulsive e attratte, a brevi distanze, dalla materia ordinaria. Era un programma che recuperava tanto la via matematica dei *Principia* quando l'approccio speculativo dell'*Ottica*, si occupava dei problemi lasciati aperti e considerati centrali da Newton (luce, calore, suono e capillarità) eppure era un programma caratteristicamente laplaciano più che newtoniano, in quanto dell'opera di Newton veniva lasciata cadere ogni possibile ambiguità e si privilegiavano con decisa chiarezza l'azione a distanza, la differenziazione qualitativa della materia, i fluidi imponderabili interpretati come insiemi di centri di forza.

Questo modello nel 1805 poteva vantare grandi successi, per questo si poteva considerare ormai maturo. In primo luogo la grandiosa opera astronomica di Laplace e di Lagrange era riuscita a costruire una potentissima teoria dei moti planetari basandosi sull'ipotesi che ogni corpo sia composto da piccolissimi elementi attraentisi in accordo con la

⁵⁴ Laplace, 1796.

⁵⁵ Nel quarto volume di Laplace, 1799-1825. Sulla evoluzione del programma laplaciano è fondamentale Fox, 1974.

legge di Newton; lo stesso Laplace, in collaborazione con Lavoisier, aveva avviato l'edificazione della teoria del calorico⁵⁶, concepito appunto come fluido imponderabile. Il fenomeno della capillarità, da sempre uno dei temi preferiti dal newtonianesimo delle forze a distanza e che diverrà nelle mani di Laplace la chiave per penetrare nel mondo delle forze a corto raggio, aveva ricevuto significative elaborazioni, ad esempio da parte di Monge⁵⁷; nel campo dell'elettricità con le teorie di Aepino e di Coulomb e in quello del magnetismo ancora con Coulomb l'azione a distanza aveva ottenuto un grandissimo successo, avviando la matematizzazione di due settori che sempre erano sfuggiti alla determinazione quantitativa; in chimica poi il programma incentrato sulle forze di affinità, dopo esser stato accantonato ma non negato da Lavoisier, veniva riproposto in forma rinnovata e articolata nel 1801 e poi più compiutamente nel 1803⁵⁸ dal grande chimico amico di Laplace, Claude Berthollet. Erano questi sviluppi a confermare sempre meglio il potere unificante del modello laplaciano e a far ritenere ormai maturo il programma filosofico delineato nel 1773.

Si è già detto che alla fine del settecento l'idea di azione a distanza diventò centrale per la visione della materia in tutta Europa. Anche i fluidi imponderabili interpretati dinamicamente conobbero un grande successo tanto in Francia quanto in Inghilterra (con l'eccezione qui di Cavendish) e il fatto che l'idea di fluido imponderabile fosse usata da ciarlatani o arrivisti come Mesmer o Marat⁵⁹ non deve far dimenticare che nelle formulazioni scientifiche serie quel concetto aveva assunto un reale valore esplicativo. Attraverso il modello delle azioni a distanza e dei fluidi imponderabili Laplace all'inizio del nuovo secolo poteva realmente pensare, certo con una buona dose di ottimismo, alla costruzione di una fisica unitaria. La sua era una fisica modellistica che al modello chiedeva fundamentalmente l'unitarietà della visione del mondo e della teoria elaborate dalla scienza. Se il suo fu un modellismo acritico, lo fu

⁵⁶ Sulla teoria del calorico il testo fondamentale è Fox, 1971. Cfr. anche McKie - Heathcote, 1935; Kuhn, 1958; Roller, 1966; Morris, 1972.

⁵⁷ Cfr. Taton, 1951, p. 340; Aubry, 1954. Sulla capillarità cfr. Millington, 1947; Bikerman, 1975 e 1978.

⁵⁸ Berthollet, 1801 e 1803.

⁵⁹ Sul fenomeno del « mesmerismo », sul suo impatto sulla cultura francese e l'opposizione scientifica anti-accademica si vedano Cabanès, 1891, pp. 99-161; Gottschalk, 1967; Darnton, 1968; Dauben, 1969; Hahn, 1971; Rausky, 1977; Benz, 1977; Sutton, 1981.

nel senso che troppo ottimista era la visione illuminista di natura semplice ordinabile secondo pochi schemi teorici generali, visione della quale il programma laplaciano fu diretto e maturo erede. Non fu però modellismo acritico nel senso che comunemente si intende, quello cioè di aver confuso il modello con la realtà, di aver assolutizzato il modello.

La scoperta che il modello sia cosa differente dalla realtà che si vuol interpretare non sarà affatto compiuta dalla fisica scozzese dell'ottocento. La distinzione tra il modello e la realtà è una convinzione epistemologica ben presente nel Settecento, presente in Newton, nella meccanica razionale più « metafisiceggiante » e a maggior ragione in Laplace, che di quella meccanica fu tra i critici più acuti. Per lui la « verità » di un modello sta tutta nell'uso che se ne può fare nella costruzione teorica: « Il principio della gravità universale è egli una legge primordiale della natura, o non è egli un effetto generale di una causa ignota? Non si possono ricondurre a questo principio le affinità? Newton più circospetto di molti de' suoi discepoli non si è punto pronunciato su queste questioni alle quali l'ignoranza in cui noi siamo delle proprietà intime della materia non permettere di rispondere in una maniera soddisfacente »; invece di fare ipotesi sulle intime proprietà della materia è meglio limitarsi a vedere come le ipotesi sul sistema del mondo vengono « usate dai geometri »⁶⁰. L'importanza delle ipotesi sulla struttura molecolare della materia, base della fisica laplaciana, non può essere confusa con la realtà, perché la sua realtà per Laplace consiste solo nella sua capacità di spiegare un gran numero di fenomeni.

Del resto tutto l'ambiente scientifico di fine secolo, come si è visto, fu più interessato all'organizzazione e alla comprensione dell'esperienza piuttosto che alla scoperta della realtà profonda che sta dietro l'esperienza. La scienza di uomini come Borda, Coulomb, Carnot è assai diffidente verso l'uso di modelli, lo stesso può naturalmente dirsi per tutta l'opera di Lavoisier, che abbandona l'approccio modellistico newtoniano in chimica e rappresenta l'esempio più illustre delle concezioni metodologiche prepositiviste degli *ideologues*, con i quali anche Laplace e il circolo di Arcueil erano in ottime relazioni⁶¹. Il rifiuto della teoria atomistica in

⁶⁰ Laplace, 1823, p. 99.

⁶¹ Le strette relazioni tra il gruppo dei laplaciani e la società di Auteuil degli *Ideologues* sono state sottolineate da Crosland, 1967. Cfr. anche Moravia, 1968 e 1974.

Francia è un sintomo assai importante di un ambiente estremamente prudente nei confronti dei modelli ⁶².

La prudenza di fronte a tutto ciò che va oltre l'esperienza, la considerazione dell'esperienza quale fonte di verità superiore ad ogni altra era una eredità del « meccanicismo positivo » dell'*Académie*, del filone di illuminismo epistemologico d'Alembert-Condillac ma anche di quello materialista, che proprio in nome dell'esperienza si era ribellato all'« imperialismo » newtoniano, dello stesso stahlismo che sempre aveva rivendicato l'autonomia della chimica in funzione di una maggior aderenza al mondo dei fenomeni, della diffidenza dei nuovi scienziati-ingegneri verso le teorie prodotte dai geometri.

In questo ambiente sicuramente la scuola di Laplace fu quella più interessata alla costruzione di modelli, ma non in modo tale da rovesciare il quadro epistemologico dominante. Del resto, come vedremo fra breve, nella stessa scuola laplaciana non mancò affatto una componente metodologica di schietto carattere sperimentalista, con studiosi agnostici se non addirittura disinteressati al problema della struttura della materia. Anche l'opera di Berthollet ⁶³, che fu fondamentale per l'articolazione del programma laplaciano, non fu per nulla la ripresa del programma modellistico ingenuo di certa chimica settecentesca di ispirazione newtoniana; al contrario essa, sottolineando la dipendenza delle forze di affinità da vari parametri, fu innanzi tutto la presa di coscienza lucida e rigorosa dell'enorme difficoltà connessa con il programma di misurazione delle forze di affinità. Seppure il programma di Berthollet propose in ultima analisi un ideale modellistico, esso fu anche e soprattutto un pressante invito a considerare l'enorme complessità di una trattazione modellistica della chimica, quindi una spinta indubbia a considerare con molta prudenza e senso critico ogni tentativo modellistico. Sicuramente per Berthollet le azioni molecolari agiscono secondo le leggi della meccanica in modo che, se la loro natura fosse ben conosciuta, lo studio dei fenomeni chimici formerebbe una branca della meccanica razionale e lo si potrebbe condurre con metodo analogo a quello che serve a studiare i movimenti astronomici. Ma la natura delle azioni molecolari ci è pressoché sconosciuta e pertanto non è l'applicazione per via deduttiva delle leggi della meccanica razionale, ma è soltanto l'osservazione che ci

⁶² Cfr. Crosland, 1968.

⁶³ Su Berthollet cfr. Holmes, 1962; Kapoor, 1965; Crosland, 1971; Sadoun-Goupil, 1974 a, 1974 b, 1976 b e 1977 a; Le Grand, 1975, 1976 e 1976-77; Smeaton, 1977.

può rivelare le leggi della meccanica chimica. Si può solamente prevedere che per via sperimentale giungeremo a stabilire dei principi la cui forma richiederà quelli della meccanica razionale:

È dunque soltanto l'osservazione che deve servire a constatare le proprietà chimiche dei corpi, o le affinità per mezzo delle quali essi esercitano un'azione reciproca in una circostanza determinata; tuttavia, poiché è assai verosimile che l'affinità non differisca per la sua origine dall'attrazione generale, essa deve essere ugualmente sottoposta alle leggi che la meccanica ha determinato per i fenomeni dovuti all'azione della massa ed è naturale pensare che più principi cui giungerà la teoria chimica saranno generali, più avranno analogia con quelli della meccanica, ma è solo per mezzo dell'osservazione che essi devono raggiungere quel livello che già si può intravedere⁶⁴.

La sua analisi non si propose semplicemente di dare una « visione astronomica » della chimica, ma piuttosto ebbe come obiettivo anche quello di mostrare quale grande distanza separa l'astronomia dalla chimica. Di fatto, per la sua enorme complessità, il programma di Berthollet non riuscirà a svilupparsi.

9. - L'OPPOSIZIONE TRA LAGRANGE E LA SCUOLA LAPLACIANA.

Grazie al prestigio e all'influenza politica che Laplace seppe conquistarsi sotto Napoleone egli fu in grado di indirizzare o comunque di influenzare gran parte della ricerca scientifica in campo fisico, astronomico e, con l'amico Berthollet, anche chimico, che fu svolta in Francia fino al 1815. La scuola laplaciana fu il gruppo di gran lunga più influente, numeroso e agguerrito presente nel panorama scientifico mondiale di quel periodo, ma il suo predominio non fu assoluto. In fondo un'alternativa esisteva, ed era dotata di grande prestigio, il prestigio del nome di Lagrange.

La figura di Lagrange⁶⁵ è una figura di transizione tra la meccanica razionale settecentesca e un approccio alle teorie scientifiche pragmatico. Il suo programma di fare della meccanica una branca dell'analisi è il coronamento dell'ideale razionalista settecentesco di costruire la meccanica sulla base della pura ragione. Il modo in cui il programma fu rea-

⁶⁴ Berthollet, 1803, p. 2.

⁶⁵ La figura di Lagrange è studiata pochissimo. Cfr. Loria, 1938; Delsedime, 1971; Taton, 1974; Hamburg, 1976.

lizzato conteneva elementi di grande novità formale che schiudevano una nuova prospettiva metodologica.

In primo luogo il passaggio dalla rappresentazione geometrica a quella algebrica o, in altri termini, da una rappresentazione vettoriale ad una rappresentazione scalare. In secondo luogo la riunificazione della meccanica in un edificio compatto e coerente fondato sul principio dei lavori virtuali.

Entrambe queste innovazioni, a loro volta, poggiavano su una nuova concezione di sistema dinamico: ciò che conta, ciò di cui realmente si occupa la meccanica non è più il punto isolato, parte separata di un sistema più complesso, ma è l'intero sistema complesso di parti interagenti, interconnesse. Per la conoscenza di questo sistema non occorre più soffermare, come accade nell'approccio laplaciano, l'attenzione su ogni suo singolo punto materiale, determinando per ogni punto in modo indipendente la forza che su di esso agisce; è, più semplicemente, sufficiente conoscere una singola funzione (detta oggi funzione lagrangiana, data in termini moderni dalla differenza tra energia cinetica e energia potenziale del sistema) dipendente dalle posizioni dei punti materiali in movimento, la quale contiene implicitamente tutte le forze agenti sui punti materiali del sistema. Queste forze possono essere ottenute semplicemente per differenziazione. Inoltre nel trattamento analitico un sistema i cui punti siano soggetti a certe condizioni cinematiche, ad esempio la condizione che la distanza tra due punti rimanga invariata, può essere studiato senza conoscere le forze che sono fisicamente responsabili di tali condizioni (conoscenza da cui invece parte Laplace).

Questi elementi nuovi presenti nel formalismo lagrangiano erano gravidi di numerose conseguenze epistemologiche importantissime, che però verranno alla luce solo in un secondo momento e di esse probabilmente neppure lo stesso Lagrange si rese pienamente conto. Egli fu soprattutto un matematico con interessi scarsissimi verso la sperimentazione e verso i problemi epistemologici inerenti ai rapporti tra teoria ed esperienza. La riduzione della meccanica alla matematica fu appunto una operazione di matematica, fu la risoluzione, geniale e per molti versi definitiva, dei grandi problemi matematici aperti dalla ricerca settecentesca nel campo della meccanica razionale.

Pure, così procedendo, restringendo la propria visuale all'ambito della matematica, Lagrange operò un mutamento sostanziale negli studi di meccanica. Nella sua opera cadde, non perché risolto, ma perché tra-

sceso, il grande problema dei fondamenti della meccanica, il problema di uno scienziato come Euler, ma anche di un filosofo come Kant.

Fin dal 1762 Lagrange⁶⁶ non si preoccupò tanto di giustificare, dimostrandoli, i principi impiegati, ma lasciò piuttosto che essi si giustificassero da se stessi con la loro efficacia, mostrò con quale successo potevano essere usati. Atteggiamento non dissimile assunse anche nei confronti del problema della fondazione dell'analisi infinitesimale⁶⁷.

Si trattava di una impostazione della meccanica che non mancò di suscitare varie critiche come quella famosa di Poinsot, che accusò Lagrange di scaricare con la sua impostazione quasi assiomatica le oscurità della teoria tutte sul principio dei lavori virtuali, mescolanza di « idee vaghe » e di « strani movimenti »⁶⁸. Tuttavia il più accanito oppositore di Lagrange fu un allievo di Laplace, Poisson, il quale alla *mécanique analytique* lagrangiana, utile per trattare i problemi del movimento « in modo del tutto astratto », oppose la propria *mécanique physique*, « il cui unico principio sarebbe quello di ricondurre tutto alle azioni molecolari che trasmettono da un punto all'altro l'azione di forze date e sono l'intermediario del loro equilibrio »⁶⁹.

La *mécanique physique* ha, agli occhi di Poisson, il privilegio di esprimere la natura intima delle cose. Poisson⁷⁰ fu il più coerente, ostinato e dogmatico assertore della « visione astronomica della fisica », il più chiaro ed entusiasta sostenitore del meccanicismo delle forze centrali. Il suo programma non era sicuramente in contraddizione con le idee di Laplace, anzi risentiva di ampie suggestioni da parte di quest'ultimo, ma non credo che le posizioni di questi due grandi scienziati si possano identificare, né tantomeno che Poisson possa essere assunto a emblema della intera scuola laplaciana. Il programma di Laplace e Berthollet si fondava non soltanto su un lavoro teorico di traduzione e unificazione dell'esperienza attraverso il modello delle forze a distanza e dei fluidi imponderabili, ma anche su di un rinnovato empirismo che

⁶⁶ Lagrange, 1762.

⁶⁷ Cfr. Lagrange, 1797.

⁶⁸ Poinsot, 1806, pp. 422-3.

⁶⁹ Cit. in Costabel, 1961, p. 113. Il programma della *Mécanique physique* fu esposto nella sua forma più chiara nel preambolo a Poisson, 1828.

⁷⁰ Su Poisson cfr. Sheynin, 1978; Arnold, 1979; Costabel, 1981. A Poisson il congresso internazionale di storia della scienza svoltosi a Bucarest nel 1981 ha dedicato una sezione cui sono stati presentati vari interventi: *The bicentenary of Denis Poisson's birth*. Cfr. *International Congress of the History of Science, 16th Proceedings. C. Meetings on specialized topics. D. Commemorations*.

imponere all'esperienza nuovi canoni di rigore, di contro alla *physique expérimentale* qualitativa settecentesca⁷¹.

Già si è detto della complessità della figura di Laplace, ben più attento di Poisson alle componenti sperimentali della scienza. Si può ora aggiungere, a riprova della presenza di una ricca componente sperimentale nella scuola laplaciana, che tutta l'opera dell'altro fedelissimo di Laplace, Jean-Baptiste Biot⁷², fu un tentativo di matematizzazione della fisica sperimentale rivolto alla costruzione di una più precisa conoscenza della natura grazie a un rigoroso sperimentalismo. Biot descrive un metodo scientifico (naturalmente, come tutti, attribuendolo a Newton) matematico-empirico, in cui parte preponderante hanno la costruzione di tabelle, che riportano misure ottenute in circostanze variate, la riduzione di dati a formule algebriche, la prova delle formule con la loro applicazione a nuovi fenomeni. La spiegazione teorica delle leggi fenomeniche è rinviata a un futuro non precisato, nella fiducia che il semplice lavoro sperimentale, svolto senza aderire ad alcun modello di mondo, ad alcun sistema, produrrà da se stesso le teorie adatte⁷³. Nessuna obiettività, in questo quadro, può essere attribuita ai modelli, considerati « ipotesi convenienti alle quali non bisogna collegare alcuna idea di realtà »⁷⁴.

Siamo qui di fronte, evidentemente, ad una concezione di scienza ben lontana da quella di Poisson. Entrambi, a pieno diritto, fanno parte della scuola laplaciana⁷⁵, ma nessuno dei due, da solo, può essere preso come emblema del caposcuola che, almeno nelle intenzioni, intese riu-

⁷¹ Presentando il primo volume delle *mémoires* frutto del lavoro svolto nell'ambito della *Société d'Arcueil*, nel 1807 Berthollet così ne esprimeva il senso complessivo: « Perché il progresso nella fisica e nella chimica ... sia reale, occorre far penetrare in esse una grande precisione fattuale; occorre perfezionare tutti i mezzi per stabilire questi fatti e confrontare i risultati dei differenti fisici ... solo con questi lavori e con l'aiuto di una salutare critica si può arrivare a teorie solide e a verità incontestabili » (*Société d'Arcueil*, 1807, p. i).

⁷² Su Biot cfr. Lefort, 1867; Picard, 1931; Frankel, 1977 e 1978.

⁷³ « Voi non avete bisogno di un sistema ... è solo necessario esporre i fatti, misurarli e disporli in un ordine tale che essi seguano l'uno dall'altro; poi, quando ne avrete raccolti un numero sufficiente ..., il loro accostamento vi condurrà alle idee teoriche più appropriate per rappresentarli insieme, e l'algebra, con lo svelare tutte le conseguenze di queste idee, vi dirà se sono ammissibili » (Biot, 1816, I, p. xx).

⁷⁴ Biot, 1858, II, p. 114.

⁷⁵ Biot non fu il solo laplaciano ad essere metodologicamente tanto prudente. Anche la fisica esposta nel manuale di Häüy (*Häüy*, 1803) che fu lo strumento di penetrazione del gruppo laplaciano nelle scuole, manifesta tratti assai simili al manuale successivo di Biot.

nificare in sé il fisico sperimentale e quello teorico-matematico, richiamandosi tanto ai *Principia* quanto all'*Ottica* di Newton e tentando di ricomporre quei due filoni di newtonianesimo, quello razionalista e quello empirista, che nel settecento avevano proceduto separatamente.

10. - L'ATTACCO ALLA FISICA LAPLACIANA.

Con il ritorno dei Borboni il controllo che Laplace aveva mantenuto sulla scienza francese sotto l'Impero non poté più essere mantenuto ⁷⁶ e a partire dal 1815 gli attacchi alla fisica laplaciana si moltiplicarono: Sophie Germain, Dulong e Petit, Arago, Fresnel e Fourier furono i più importanti antilaplaciani ⁷⁷.

Questo schieramento era assai composito da ogni punto di vista. Tra i suoi due maggiori esponenti, Fresnel e Fourier, vi erano profondissime differenze metodologiche.

Fresnel ⁷⁸ presentò una teoria ondulatoria della luce partendo da un ideale di scienza universale deduttiva derivatagli dalla tradizione di illuminismo francese fortemente permeato di cartesianesimo. La fisica dei fluidi imponderabili gli appariva poco soddisfacente perché non unitaria. Al suo posto propose una teoria alternativa ⁷⁹ che era caratterizzata da un modellismo ben più dogmatico di quello laplaciano. Fresnel parte dalla convinzione che le vibrazioni di un unico fluido, un fluido universale che egli chiama calorico, possano avere influenza su tutti i fenomeni di cui si occupano la fisica e la chimica. In lui opera con vigore estremo la credenza in una natura semplice e la semplicità è per Fresnel il principale criterio per la verità di una teoria. Sulla visione al fondo semplice del mondo, sulla visione di un fluido universale alla base di tutti i feno-

⁷⁶ Sull'intreccio di rapporti creatosi in Francia tra potere politico e ricerca scientifica durante il periodo rivoluzionario e quello dominato da Napoleone vi è una vastissima bibliografia: Bugge, 1798-99; Biot, 1803; Liard, 1888-94; Barral, 1889; Pouchet, 1896; Williams, 1953, 1956 e 1959; Fayet, 1960; Crosland, 1967; Prost, 1968; Barnard, 1969; Hahn, 1971; Israel-Negrini, 1973; Fox, 1973 e 1974; Roche, 1974; Ben-David, 1975; Staum, 1976; Sadoun Goupil, 1976 a; Frankel, 1976; Outram, 1980; Mandelbaum, 1980; Fox-Weisz, 1980; Jahnke-Otte, 1981.

⁷⁷ Per Sophie Germain si veda Germain, 1879; Bucciarelli-Dworsky, 1980; per gli altri autori citati si vedano le note seguenti.

⁷⁸ Su Fresnel cfr. Silliman, 1974; Chappert, 1976 e 1978. La teoria corpuscolare della luce alla quale Fresnel oppose la propria teoria ondulatoria è studiata in Chappert, 1977.

⁷⁹ Fresnel, 1826.

meni chimici e fisici si radica il suo progetto di una nuova scienza unificata nella quale calore, luce e altri agenti imponderabili diventino solo differenti modi di movimento di un unico fluido. La teoria ondulatoria della luce è il primo passo per la costruzione di questa nuova scienza.

L'opera di Fourier⁸⁰ aveva invece dichiarati intenti antimodellistici. La sua teoria del calore⁸¹ intende formulare una trattazione del calore indipendente da ogni ipotesi sulla natura del calore stesso. Anziché partire da un qualche modello rappresentante la struttura del calorico, occorre partire da « fatti generali », proposizioni empiriche sceve da ogni ipotesi su ciò che sta dietro i fenomeni. Partendo da fatti generali assunti quali principi si costruisce con l'aiuto della matematica un sistema deduttivo, una teoria, appunto, che, preservando l'esigenza di rigore logico e di chiarezza tipica dell'eredità dell'illuminismo, abbia come scopo fondamentale quello di giungere a dimostrare come teoremi le equazioni di propagazione del calore, le cui soluzioni, le equazioni del fenomeno, saranno poi confrontate con l'esperienza. Si è così in grado di costruire una teoria matematica (così come lo è quella di Laplace) del calore, indipendente da ogni ipotesi fisica. Se in Laplace la matematica poteva estrinsecare tutte le proprie capacità di ausilio alla conoscenza solo attraverso l'intermediario di un modello, in Fourier essa si applica direttamente all'esperienza.

L'analisi che Fourier svolse sulla struttura matematico-linguistica delle teorie scientifiche, sui criteri « interni » cui deve soddisfare una teoria accettabile e sui rapporti tra termini teorici ed esperienza fu certamente rigorosa ed acuta e la sua critica a Laplace non può certo essere ricondotta ad un piatto empirismo. Tuttavia proprio l'empirismo in funzione antimodellistica fu la componente metodologica che ebbe il più dirompente impatto sulla concezione della scienza e del metodo scientifico che sarebbe emersa dall'eclissi del filone laplaciano.

La *Theorie Analytique* di Fourier ebbe grandissima influenza sulla concezione della scienza di Comte⁸²: porre « fatti generali », anziché costruzioni ipotetiche, alle basi di ogni teoria scientifica, delimitare le possibilità di conoscenza alle leggi intese quali relazioni tra fenomeni,

⁸⁰ Su Fourier cfr. Champollion - Figeac, 1844; Grattan - Guinness, 1972; Besana, 1972; Bellone, 1973; Herivel, 1975 a; Charbonneau, 1976; Friedman, 1977; Cardwell, 1977.

⁸¹ Fourier, 1822.

⁸² Sull'influenza esercitata su Comte dall'ambiente scientifico rimane fondamentale Gouhier, 1933-41. Cfr. anche Crosland, 1971.

furono due capisaldi della filosofia della scienza comtiana eretti avendo come costante modello di riferimento l'opera di Fourier, nonché quella di Lagrange reinterpretata in termini empiristi. Da questo punto di vista l'identificazione di Fourier con una metodologia positivista è indubbiamente esatta.

Tuttavia sarebbe un errore ritenere che quei caratteri « positivi » della scienza siano stati una novità per l'ambiente francese e che quindi il trapasso dalla concezione laplaciana a quella di Comte e Fourier sia stato una rottura brusca. Come abbiamo visto, la scuola di Laplace non si riduceva al semplice approccio modellistico, ma comprendeva un genuino interesse per un rigoroso sperimentalismo. Il rifiuto della ricerca delle cause prime, la delimitazione degli scopi della scienza allo studio delle leggi fenomeniche, la costante prudenza verso le costruzioni ipotetiche, erano un portato della polemica dell'illuminismo contro le cause metafisiche, polemica che sempre aveva visto Laplace in prima fila e che continuava ad essere presente nei suoi allievi. Ad esempio alla definizione di scienza di Biot neppure Comte aveva nulla da obiettare: « Il vero oggetto delle scienze fisiche non è la ricerca delle cause prime, ma la ricerca delle leggi secondo cui i fenomeni sono prodotti »⁸³. Gouhier ha dimostrato quali profonde radici abbia avuto il positivismo comtiano nella cultura del tardo illuminismo e come i criteri per distinguere il sapere genuinamente « positivo » di Comte fossero ampiamente diffusi e accettati nel periodo napoleonico.

Non poteva certo essere considerata dai laplaciani, quella di Fourier, una ricerca fisica condotta secondo criteri metodologici nuovi, visto che da vari decenni molti scienziati vicinissimi a Laplace, come Biot o Gay-Lussac⁸⁴, non si comportavano molto diversamente.

La vera differenza, il vero punto di attrito così come lo colsero i contemporanei, consisteva non tanto in quello che Fourier aveva fatto, ma piuttosto in quello che *non* aveva fatto. Trovare le leggi dei fenomeni nel modo il più possibile aderente all'esperienza era compito meritevole agli occhi di tutti i laplaciani. Una volta assolto questo compito, però, ne rimaneva ancora un altro: quello di riunificare le leggi fenomeniche nell'edificio teorico della fisica e questo era il compito che doveva assolvere la trattazione modellistica. Per Fourier, invece, questo compito era inutile, spettava alla matematica applicata direttamente all'esperienza

⁸³ Biot, 1858, II, p. 112.

⁸⁴ Su Gay-Lussac cfr. Crosland, 1978 a; Gay-Lussac, 1980.

conferire, fin dove era possibile, unitarietà al corpo delle conoscenze fisiche. In questo modo Fourier non sembrava introdurre tanto un metodo nuovo, quanto piuttosto eliminare una componente del metodo « vecchio ».

Ciò che l'opera di Fourier a ben vedere metteva in realtà in discussione non era tanto un metodo di giustificazione delle leggi fisiche, ma piuttosto una impalcatura teorica. Che la verità di una legge dipenda dall'esperienza e non dalle ipotesi dalle quali è derivata è affermazione non contestabile minimamente né da Laplace né da chiunque altro in quel periodo. Il fatto è che alla deduzione da un modello i laplaciani non chiedevano la conferma di alcuna legge, che, ovviamente, era sempre di pertinenza della sperimentazione, ma l'unitarietà. Rinunciando a dedurre le proprie leggi sulla trasmissione del calore da ipotesi di fisica molecolare Fourier non veniva a mettere in discussione un modo di giustificazione delle leggi stesse, ma la possibilità di inserirle in un quadro unitario coerente che nel modello aveva appunto la propria sorgente di unità. La teoria del calore di Fourier metteva in crisi la fisica laplaciana non per il suo rifiuto dei modelli, ma perché spezzava l'unitarietà della fisica, si veniva a porre come capitolo indipendente dal resto della fisica e, in particolare, dalla meccanica, che forniva i principali strumenti necessari alla trattazione dei modelli molecolari. Di questo si accorsero prima i laplaciani dello stesso Fourier: per voce di Biot e Poisson il gruppo di Laplace non accusò mai le leggi di Fourier di essere dubbie perché non dedotte da modelli (anzi su queste leggi vi fu una disputa di priorità)⁸⁵, ma le giudicò slegate dal resto della fisica, semplici leggi empiriche, appunto come le giudicava Fourier. Questi solo nel 1822 sostenne che il suo modo di procedere era lecito in quanto realmente i fenomeni termici sono irriducibili alla meccanica. In precedenza non aveva parlato di « indipendenza » della teoria del calore ma di « inutilità » della derivazione di questa teoria da ipotesi molecolari (derivazione che lui stesso aveva tentato)⁸⁶.

Va poi sottolineato che il punto su cui maggiormente si incentrò la polemica contro la *Théorie* di Fourier non fu legato alla metodologia ma al tipo di matematica impiegato⁸⁷ dallo stesso Fourier che, con il cele-

⁸⁵ Sulla polemica tra i laplaciani e Fourier circa la teoria del calore cfr., oltre ai testi citati su Fourier, in particolare Herivel, 1975 a; anche Bachelard, 1928; Herivel - Costabel, 1980.

⁸⁶ Cfr. Herivel, 1975 a, p. 185 e p. 221 e ss.

⁸⁷ È significativo che il più accanito avversario della matematica di Fourier

berrimo sviluppo in serie trigonometrica che porta il suo nome, introdusse in fisica l'impiego di funzioni non analitiche, rompendo così una tradizione che già senza successo Daniel Bernouilli aveva cercato di porre in forse⁸⁸.

Spezzando l'unitarietà della fisica Fourier apriva la strada che avrebbe imboccato il processo di disfacimento del programma laplaciano nel corso dell'Ottocento: il modello laplaciano che si era misurato con i vecchi problemi ereditati da Newton si rivelerà troppo debole nei confronti del prorompere di nuove conoscenze che avrà luogo nel nuovo secolo; la fisica si spezzerà in una pluralità di capitoli separati in attesa di una nuova unificazione che verrà nel Novecento. Per questo la critica di Fourier fu importante. Ma il suo approccio metodologico non fu in se stesso decisivo.

Gli altri avversari di Laplace, da Dulong ad Arago, a Petit, come Fresnel non sono certo definibili « positivisti ». La loro è una fisica ipotetica, quant'è ipotetica quella laplaciana (essi erano profondamente interessati alla natura del calore e della luce) e essi credevano nella verità delle proprie ipotesi (modellistiche), che opponevano alle ipotesi laplaciane⁸⁹. Ad esempio, il celebre lavoro sperimentale di Dulong e Petit sulla determinazione dei calori specifici dei solidi⁹⁰, decisivo ai fini della messa in discussione del paradigma laplaciano, è solo apparentemente antimodellista. È vero che lo studio è condotto in modo puramente sperimentale, senza ipotesi sulla natura del calore, ma questo di per se stesso non era affatto, come si è visto, in contraddizione con la tradizione laplaciana e se Comte vedrà in esso un modello di metodologia, altrettanto farà nientemeno che Poisson. Da parte loro Dulong e Petit considerarono in altri lavori come problema schiettamente scientifico quello della natura del calore; dapprima simpatizzarono per l'ipotesi di Berzelius (origine elettrica del calore delle reazioni chimiche), poi, dopo il 1820, Dulong aderì alla teoria vibrazionale. Il lavoro sui calori specifici era poi direttamente connesso con la teoria atomica di Dalton che già dal 1816 Dulong sosteneva in polemica con Berthollet.

Gli oppositori di Laplace non formarono un gruppo omogeneo, né

sia stato Lagrange, che pure dal punto di vista della « metodologia positivista » avrebbe dovuto essere il suo miglior alleato. Su questa vicenda cfr. Herivel, 1975 a, p. 100 e ss., e anche D'Abro, 1951, I, p. 135 e ss.

⁸⁸ Cfr. Delsedime, 1971.

⁸⁹ Cfr. Fox, 1971 e 1974.

⁹⁰ Cfr. Dulong - Petit, 1819. Su questo fondamentale lavoro cfr. Fox, 1968-9.

dal punto di vista politico, né da quello metodologico. Essi contribuirono tutti a mettere in crisi la scuola laplaciana, ma non crearono alternative altrettanto potenti. Il positivismo fu anche un sintomo delle difficoltà incontrate dagli avversari della fisica laplaciana nei loro tentativi di stabilire nuovi principi costitutivi, esso rifletté, prima che causare, il cambiamento di stile della scienza francese riscontrabile a partire dagli anni '20. Solo Fourier, alleandosi filosoficamente con Comte, riuscì a formare una scuola e per questo fu il positivismo ad emergere dalle rovine del meccanicismo laplaciano, ma il positivismo piú che la causa di quel crollo ne fu la conseguenza.⁹¹ Alla caduta contribuirono altre componenti, teoriche, metodologiche e soprattutto componenti sperimentali. Il programma laplaciano aveva le proprie radici nella scienza settecentesca, era, in ultima analisi, il coronamento del programma newtoniano: i suoi problemi erano i problemi indicati da Newton. Nei confronti di questi problemi vecchi il programma attorno al 1810 poteva sembrare vittorioso: il modello delle forze a distanza e dei fluidi imponderabili stava mietendo grandi successi esplicativi. Ma i primi decenni dell'Ottocento dovevano conoscere un fiorire della ricerca sperimentale senza precedenti ed i nuovi risultati, le nuove osservazioni ponevano nuovi problemi, completamente estranei al quadro newtoniano. Messo a confronto con queste nuove scoperte il modello laplaciano si manifestò troppo povero per poter assolvere all'ambizioso compito assegnatogli, quello di unificare l'esperienza, mentre continuò a mantenersi vitale per settori di studio limitati, come la teoria dell'elasticità. I tentativi di salvarlo in qualche modo di fronte a queste nuove conoscenze ne mostrarono in realtà l'insostenibilità. Valga per tutti l'esempio della celeberrima scoperta di Oersted dell'interazione tra elettricità e magnetismo, che mostrava l'esistenza di forze rivolutive, non centrali. La teoria del magnetismo di Ampère⁹², che solitamente è presentata come la risposta vittoriosa del paradigma laplaciano in quanto interpreta le forze rivolutive tra corrente elettrica e ago magnetico in termini di forze centrali tra elementi di corrente, fu in realtà un grave assalto alla fisica di La-

⁹¹ Tanto Dulong quanto Jean-Baptiste Dumas, ad esempio, si rifugiarono dopo il 1830 in una sorta di agnosticismo positivista a seguito del fallimento dei propri programmi non positivisti. Cfr. Dumas, 1837; Girardin-Laurens, 1854; Maindron, 1886; Lemay-Oesper, 1948; Kapoor, 1969 a.

⁹² Su Ampère cfr. Guillemin, 1932; Williams, 1962-63; Brown, 1969; Herivel, 1975 b; Merleau-Ponty, 1977; Costabel, 1977; Kastler, 1977; Marcovich, 1977; Rosmorduc, 1977; Saduon Goupil, 1977 b; Blondel, 1978; Blondel-Gatinnois, 1978; Hamamdjian, 1978; Caneva, 1980. In italiano Ampère, 1969.

place: supponendo l'identità di elettricità e magnetismo Ampère rompe con la concezione dei due fluidi, elettrico e magnetico, di Coulomb, che era divenuta fondamentale nell'impianto concettuale laplaciano, e attribuendo all'unico fluido caratteri assai vicini all'etere di Fresnel estende l'attacco ai fluidi imponderabili laplaciani al di là dell'ottica. Non per caso la teoria di Ampère fu fieramente combattuta dal fedelissimo di Laplace, Biot.

Non va dimenticato, inoltre, che, se è vero che il programma per la chimica di Berthollet ha avuto una importanza di primo piano nella formulazione della fisica molecolare, allora la sua eclissi ad opera della teoria atomica di Dalton, che iniziò in Francia dopo il 1815⁹³, deve aver costituito un elemento di non indifferente difficoltà per la scuola di Laplace. Il programma di Berthollet, incentrato sugli studi delle affinità, non procedette, l'intera chimica si orientò su nuove direzioni, lasciando progressivamente il problema dell'affinità in secondo piano o affrontandolo in termini completamente nuovi, come nell'ipotesi elettrochimica.

11. - IL PERIODO POSITIVISTA.

Dall'inizio degli anni '30 sino agli ultimi anni del secolo la fisica francese non fu più dominata dal modellismo laplaciano. Vi fu ancora, è vero, una scuola di studiosi che proseguì il programma della *mécanique physique* di Poisson e che toccò il suo culmine nei fondamentali studi di Cauchy⁹⁴ sui mezzi continui, ma anche in costoro la teoria fu via via privata di ogni portata ontologica e, dopo la metà del secolo, questo filone si esaurì e venne ripreso solo negli ultimi anni del secolo da Boussinesq⁹⁵. Lo stile di lavoro dominante divenne quello sostenuto autorevolmente da Fourier dal punto di vista scientifico e bandito da Comte dal punto di vista filosofico: scopo fondamentale della ricerca è il reperimento di leggi generali, intese come interrelazioni tra fenomeni, attraverso esperimenti ed osservazioni, senza alcuna necessità di ipotesi sulle cause prime; ciò che sfugge al controllo diretto dell'esperienza, ciò che è troppo carico di ipoteticità, va espunto dal campo della scientificità.

Sicuramente in Comte e in Fourier non mancavano un interesse

⁹³ Cfr. Crosland, 1968; Colmant, 1972; Gardner, 1979 e la bibliografia citata in nota 63.

⁹⁴ Su Cauchy cfr. Valson, 1868; Jourdain, 1913.

⁹⁵ Cfr. Boussinesq, 1873 e 1889.

fortissimo per la teorizzazione e una piena coscienza dell'ineliminabilità della componente teorica presente in ogni osservazione. Già si è visto che l'empirismo di Fourier era accompagnato da un'attenta indagine dei rapporti tra teoria matematizzata ed esperienza. Anche Comte afferma: « Se, da un lato, ogni teoria positiva deve necessariamente essere fondata su delle osservazioni, è ugualmente notevole, dall'altro lato, che per compiere le osservazioni la nostra intelligenza ha bisogno di una qualche teoria »⁹⁶. Ogni osservazione empirica è incerta, essa è utilizzabile solo se connessa con altre, almeno ipoteticamente, da qualche legge: « Nessuna vera osservazione è possibile se essa non è preventivamente diretta e alla fine interpretata per mezzo di una qualunque teoria »⁹⁷. Ma queste restano affermazioni un po' in ombra nella produzione complessiva di Comte. Nella definizione di sapere positivo l'enfasi è indubbiamente posta sugli aggettivi « reale » in opposizione a « chimerico », « utile » in opposizione a « ozioso », « certo » in opposizione a « indeciso » e la componente ipotetica e teorica dell'impresa scientifica rimane nella penombra.

Il clima culturale che dominò la scienza francese nei decenni centrali del XIX secolo⁹⁸ fu caratterizzato da una progressiva caduta d'interesse per la fisica teorica, di contro all'emergere massiccio e preponderante di uno sperimentalismo sovente scisso dalla matematizzazione, sicuramente lontano dalla originaria impostazione di Fourier, ma che nella sua esaltazione dei « fatti generali » da porre alla base di ogni edificio scientifico trovava una precisa radice.

In Lamé, il più influente seguace di Fourier della prima metà del secolo, che pure ebbe ancora forti interessi per la fisica matematica e che diede rilevanti contributi teorici, la teoria e la matematica intervengono solo a posteriori nella elaborazione della conoscenza scientifica, dopo che le leggi scientifiche già sono state stabilite per via sperimentale. Egli esprime un modello ideale di ricerca scientifica ridotta all'empirismo più puro con la speranza che

sia possibile un giorno far consistere l'insegnamento della fisica nella sola esposizione dei procedimenti dell'esperienza e dell'osservazione, che conducono alle leggi dei fenomeni naturali, senza che sia prima necessario enunciare ipotesi premature,

⁹⁶ Comte, 1864, I, p. 12.

⁹⁷ Ibid., IV, p. 300.

⁹⁸ Sulla scienza francese di questo periodo cfr. Herivel, 1966-67; Gilpin, 1968; Ben-David, 1970; Paul, 1971a e 1974; Crosland, 1973 e 1975; Shinn, 1979.

e spesso dannose, sulla causa primitiva di questi fenomeni naturali. È a questo stato positivo e razionale che bisogna condurre la scienza⁹⁹.

La caduta di interesse per le teorie e la riduzione della ricerca alla sola attività di laboratorio furono spinte all'estremo dal piú prestigioso ricercatore francese del periodo positivista, Henri Victor Regnault¹⁰⁰. Questi svolse un fondamentale lavoro sperimentale in campo termodinamico, ma fu sempre alieno da ogni teorizzazione e le nuove idee sul calore e sui suoi rapporti con gli altri settori della fisica che andavano formandosi e diffondendosi lo lasciarono indifferente. Il suo lavoro sperimentale enorme fu sterile per la fisica teorica francese, come lo stesso Regnault riconobbe¹⁰¹. I francesi che contribuirono alla edificazione della nuova visione del calore furono personaggi ai margini della cultura ufficiale¹⁰². Solo Verdet, tra i membri di questo ambiente, seppe mantenere un vivo interesse per la fisica teorica¹⁰³ e una notevole apertura verso le idee nuove che sorgevano all'estero, ma Verdet insegnava all'*École Normale* e non riuscì a influenzare i centri nevralgici della ricerca scientifica. L'ambiente dei fisici si riconosceva in Regnault e badava assai piú all'arte della sperimentazione che alla costruzione di impalcature teoriche.

Le citazioni che si potrebbero fare in proposito sono moltissime, da Berthelot a Sainte-Claire Deville, a Chevreul, a Cornu, a Moutier, a Violle. Qui citerei, per l'influenza che avrà poi su Duhem, oltre che per la rappresentatività dell'autore, l'estremo scetticismo teorico presente nello scritto *Discours sur les théories physiques en général* (1858) di Bertin, uno dei piú importanti fisici francesi della seconda metà del secolo:

⁹⁹ Lamé, 1936, lez. I, par. 5. Dal punto di vista metodologico, di Lamé sono assai significative anche le due brevi note Lamé, 1863 e Lamé, 1867.

¹⁰⁰ La figura di Regnault è pochissimo studiata. Il lavoro piú significativo in proposito è rappresentato dal capitolo dedicato a Regnault in Fox, 1971. I principali lavori di Regnault sono raccolti in Regnault, 1847-70.

¹⁰¹ Anche nel rapporto di Bertin, 1867, si rileva come i progressi francesi in campo termodinamico siano stati esclusivamente sperimentali.

¹⁰² Le idee di Carnot trovarono udienza in Francia presso tecnici-costruttori come Louis Franchot, ingegneri-geometri come Clapeyron e Reech, tecnici autodidatti come Marc Seguin e Adolphe Hirn. Su questa vicenda cfr. Redondi, 1976; Taton, 1976.

¹⁰³ L'apertura di Verdet verso la fisica teorica europea è ben testimoniata da Verdet, 1868 e 1872. Su Verdet cfr. Levistal, 1866; De La Rive, 1877.

Quando si vuol passare dalla contemplazione dei fatti alla ricerca delle cause che li producono ... la disillusione non tarda ad arrivare, e ci si sente quasi umiliati vedendo la debolezza delle teorie con l'aiuto delle quali gli scienziati pretendono di spiegare la natura. L'insufficienza delle attuali teorie non è piú un segreto per nessuno ... La causa prima dei fenomeni ci sarà svelata senza dubbio solo tra le braccia di Dio: saremo sempre costretti a conoscere solo cause secondarie, cioè i fatti primordiali dai quali gli altri derivano¹⁰⁴.

Il prevalente interesse per la fisica sperimentale coesisteva con una ideologia nazionalista che attribuiva alla scienza francese anche un compito teorico, quello di portare, cartesianamente, rigore e chiarezza nelle varie discipline. Così, ad esempio, Cornu e Lemoine scrivevano nel 1884: « La Francia non ha bisogno, soprattutto in fatto di scienze, di imitare servilmente la Germania... Il nostro paese ha sempre potuto portare negli alti studi scientifici la semplicità e la precisione »¹⁰⁵. Il modello di riferimento ideologico rimanevano le grandi teorie di Laplace, Poisson, Fourier, ma era un modello che non serviva affatto alla pratica scientifica e che veniva richiamato soltanto in forma retorica, come ideale di scienza « nazionale », che però, di fatto, non corrispondeva piú alla realtà.

Il disinteresse per le teorie fece sí che nel giro di qualche decennio la fisica teorica tedesca e, soprattutto, quella inglese sopravanzassero di molto quella francese. Attorno al 1870 questo declino era ormai chiarissimo.

Molto è stato scritto su questo declino¹⁰⁶, particolarmente dal punto di vista della sociologia della scienza, e varie cause possibili di esso sono state evidenziate: assenza di competizione e di organizzazione, mancanza di laboratori, di fondi, partecipazione degli scienziati alla vita politica che li distraesse dai loro studi, centralismo burocratico eccessivo, ecc. Recentemente Paul¹⁰⁷ ha contestato tutte queste interpretazioni in modo convincente giungendo a concludere che allo stato attuale degli studi una interpretazione non può ancora essere data. Dal punto di vista teorico, al di là della discussione sui pur importanti fattori di ordine sociologico, il maggior fattore di crisi è stato indicato nel positivismo. Heri-

¹⁰⁴ Bertin, 1858, pp. 3-4.

¹⁰⁵ Cornu - Lemoine, 1884, p. 8.

¹⁰⁶ Ai lavori citati in nota 98 che, pur incentrati sulla fase di mezzo del secolo, si occupano del declino della scienza francese evidenziandosi dopo il 1870, vanno aggiunti altri lavori che spostano il proprio centro di interesse verso gli ultimi decenni dell'Ottocento: Brillouin, 1925; Guerlac, 1964; Paul, 1972 a; Nye, 1975; Crosland, 1976 a.

¹⁰⁷ Paul, 1974.

vel¹⁰⁸ ha sostenuto che la tradizione metodologica ispirata da Fourier e da Comte era addirittura inconciliabile con i presupposti di fondo sulla base dei quali si svilupparono la teoria meccanica del calore, la teoria cinetica dei gas e la teoria elettromagnetica di Maxwell, quindi che il clima positivista contribuì a generare non solo disinteresse, ma opposizione verso le più recenti teorie. Certo tutte le nuove teorie inglesi e tedesche presentarono un fortissimo carattere di ipoteticità (sul cui aspetto si tornerà più volte) che ai fisici educati alla scuola di Fourier e di Comte non poteva non apparire un ritorno alle concezioni metodologiche laplaciane. Ancora nel 1883 Violle, nel suo *Cours de Physique*, citava a proposito delle ipotesi Lamé, distinguendo tra ipotesi che sono « cause reali dei fenomeni » e della cui realtà si possono dare « prove irrecusabili », e ipotesi che non godono di questa « certezza » e che perciò non vanno ammesse in fisica¹⁰⁹. Distinguere le ipotesi dai fatti fu la grande direttrice metodologica (peraltro non sempre seguita in concreto) dai fisici francesi del periodo positivista. « Dobbiamo — dice Jamin — imporci la regola invariabile di studiare i fenomeni tali quali noi li vediamo prodursi senza cercare di indovinare nulla delle cause che li determinano »¹¹⁰.

Al positivismo è stata inoltre rimproverata un'altra responsabilità: quella della concezione tutta strumentale della matematica, che ha finito per privilegiare il lavoro sperimentale su quello di matematizzazione, di contro alle nuove teorie che impiegavano un approccio matematico sempre più massiccio e raffinato. Naturalmente una concezione strumentalista della matematica non è di per sé incompatibile con un massiccio impiego di raffinati algoritmi nella costruzione teorica: anche Laplace e Lagrange possono essere considerati strumentalisti! Ovviamente vi sono differenti modi di intendere lo strumentalismo: l'uno che concepisce la matematica come strumento insostituibile, l'altro invece che privilegia l'osservazione come fonte fondamentale di conoscenza e alla matematica conferisce un ruolo marginale e, al limite, eliminabile. Il positivismo francese scivolò nel corso del tempo verso questa seconda forma di strumentalismo. In Fourier era presente una concezione realista della matematica: « L'analisi matematica ha dei rapporti necessari con i fenomeni sensibili, il suo oggetto non è creato dall'intelligenza dell'uomo.

¹⁰⁸ Herivel, 1966-67.

¹⁰⁹ Violle, 1883-92, I, p. 29.

¹¹⁰ Jamin, 1881, I, p. 2.

ma è un elemento preesistente dell'ordine universale, e nulla ha di contingente e di casuale; esso è impresso entro tutta la natura »¹¹¹. Questo realismo si spinge fino a considerare i termini individuali delle soluzioni in serie delle equazioni differenziali per la propagazione del calore corrispondenti a eventi fisici che avvengono durante la diffusione del calore nei corpi:

In qualunque maniera i differenti punti di un corpo sono stati riscaldati, l'iniziale e arbitrario sistema di temperatura si decompone in alcuni semplici e durevoli stati ... Ognuno di questi stati esiste indipendentemente da tutti gli altri ... La decomposizione non è puramente un risultato analitico e razionale. Ha realmente luogo e risulta dalle proprietà fisiche del calore¹¹².

Proprio questo realismo finisce per far privilegiare a Fourier la matematica concreta, applicata a problemi reali che esigono soluzione, sulla matematica astratta e a fargli ritenere che lo studio dei problemi fisici sia la primaria fonte per la costruzione delle teorie matematiche. Questo fu l'aspetto che maggiormente colpì Comte: la matematica concreta è il centro di gravità di tutta la matematica. Lo sviluppo in serie di Fourier è per Comte il più illuminante esempio di come si debbano correttamente concepire i rapporti tra astrazione matematica e realtà: « La matematica astratta si è dunque costituita in vista di risolvere le equazioni fornite dalle differenti branche della matematica concreta »¹¹³. Di qui a passare a considerare la matematica come strumento la via è breve e il passaggio fu compiuto da Comte: il calcolo è un mezzo, non un fondamento della scienza, esso può usare senza difficoltà qualsiasi strumento, come i numeri immaginari e quelli negativi. L'empirismo si fa maestro della matematica e questa cessa di essere (come in Hobbes o in Condillac) un gioco di trasformazioni nominali, oppure (come in Hume) una approssimazione sempre incerta della realtà, oppure, infine, come credevano molti illuministi, elemento unificante della cultura scientifica, « regina » di tutte le scienze, per divenire un mezzo che l'uomo sviluppa storicamente per meglio dominare il mondo delle conoscenze fenomeniche.

E ancor più marcatamente strumentale divenne la visione dei fisici francesi dopo la metà del secolo. Molto significativo a questo proposito

¹¹¹ Fourier, 1822, p. 17.

¹¹² Friedman, 1977, p. 96.

¹¹³ Brunschvicg, 1947, p. 297.

è il grande trattato di Jamin ¹¹⁴, che servì per lustri alla formazione degli allievi della prestigiosa *École Polytechnique*. Nella monumentale opera la fisica è presentata quale scienza induttiva, con una fiducia cieca nella sperimentazione che, senza alcun intervento attivo del ricercatore, fa scaturire direttamente la teoria dalla esatta misurazione. Tutto il trattato è una minuziosa e prolissa descrizione di strumenti e di esperimenti dalla quale dovrebbe sgorgare un insieme di conoscenze positive, non soggette al dubbio. La matematica, in questo contesto, è ovviamente ridotta a svolgere un ruolo marginale, quello di strumento ordinatore e classificatore che si tiene il più possibile in disparte per lasciar spazio alla voce dell'« osservazione ». La lettura di questo testo fa sorgere il forte sospetto che fossero ben fondate le maligne indiscrezioni che su Jamin circolavano tra i suoi contemporanei: « Jamin poteva scrivere... volumi di alta fisica senza sapere lui stesso risolvere un integrale; era obbligato a far fare ad un amico i calcoli inseriti nella sua opera » ¹¹⁵.

La riduzione della matematica a strumento « ancillare » della sperimentazione portò i fisici francesi lontani dalla restante fisica europea ¹¹⁶ nella quale, al contrario, le equazioni matematiche stavano diventando il vero nucleo delle conoscenze fornite dalle teorie fisiche. Ciò si riscontra in modo lampante nelle note che Cornu e Sarrau compirono sulla traduzione francese del *Treatise* di Maxwell (1885). Ai capitoli IV e V della parte I, nei quali Maxwell introduce due delle più importanti novità concettuali dell'intera sua opera, l'ipotesi di uno stato di « tensione elettrica » in ogni punto del mezzo e la nozione di « spostamento elettrico », Cornu premette una strabiliante nota in cui si avverte che « il lettore può senza inconvenienti ad una prima lettura saltare i capitoli IV e V che contengono soltanto degli sviluppi puramente matematici » ¹¹⁷. Non a caso Cornu si era in precedenza impegnato a far pubblicare il *Traité*

¹¹⁴ Jamin, 1881.

¹¹⁵ Domet de Vorges, 1893-94, p. 147.

¹¹⁶ Naturalmente il fatto che si sottolineino alcune conseguenze negative per la fisica francese della metodologia positivista non significa in alcun modo voler sminuire la grande rilevanza della battaglia di Comte in favore del valore della scienza, della razionalità, contro tutte le varianti di irrazionalismo. La filosofia di Comte fece molto per conservare in Francia un ambiente favorevole, pur nei limiti rilevati, allo sviluppo della ricerca scientifica. Ma la sua epistemologia gli fece assumere posizioni sicuramente dannose per il progresso della teoria fisica, quali il rifiuto della teoria ondulatoria della luce perché troppo ipotetica, o del calcolo probabilistico perché insicuro e incerto.

¹¹⁷ Maxwell, 1885, p. 129.

expérimental d'électricité et de magnétisme (1881) di Gordon, allievo di Maxwell, in cui venivano esposte le idee del maestro « adottando un metodo di esposizione puramente sperimentale »¹¹⁸.

Naturalmente lo sperimentalismo, l'induttivismo, la polemica nei confronti delle ipotesi non verificabili « con certezza », la concezione strumentale della matematica, furono tutte idee che vennero proclamate dai positivisti eredità genuina di Newton, lascito della grande tradizione della scienza moderna. Jamin cita l'esempio della teoria della gravitazione universale come modello metodologico¹¹⁹, così come l'avevano citata Laplace o Voltaire. Il proteiforme newtonianesimo, privilegiando l'*hypoteses non fingo* sulle speculazioni compiute nelle *Queries* dell'*Optica*, lo sperimentalismo di quest'ultima sulla potente matematizzazione dei *Principia*, poteva ben inserirsi nel quadro del positivismo.

La prudenza positivista, infine, non fu affatto un rifiuto del meccanicismo. Anzi, mentre in Laplace vi era pur sempre qualche dubbio circa la natura meccanica di tutti i fenomeni, nella maggioranza degli scienziati positivisti ogni dubbio sembra scomparso: « La materia multiforme di cui la chimica studia la diversità obbedisce alle leggi della comune meccanica, che è la stessa per le particelle invisibili dei cristalli e delle cellule e per gli organi sensibili delle macchine propriamente dette » (Berthelot, 1886)¹²⁰; « Tutto ciò che cade sotto i sensi, tutto ciò dunque di cui la scienza si occupa può riassumersi in queste due parole: materia e movimento » (Hofer, 1872)¹²¹; « Il carattere evidente degli sforzi della scienza moderna è di cercare... di ricondurre i diversi agenti della fisica ad un solo e unico principio: il movimento » (Le Roux, 1869)¹²²; « La chimica e una parte della fisica hanno per scopo lo studio dell'equilibrio dei sistemi materiali nelle diverse condizioni... se, in ogni caso particolare, le forze agenti fossero perfettamente definite, il calcolo basato sulle leggi della meccanica condurrebbe alla soluzione del problema » (Schützenberger, 1898)¹²³; « La realtà è la materia animata di movimento » (Violle, 1883)¹²⁴; « La tendenza generale deve essere di mostrare come i fatti osservati, i fenomeni misurati, dapprima per mezzo di leggi

¹¹⁸ Gordon, 1881, p. vi.

¹¹⁹ Jamin, 1881, I, pp. 2-5.

¹²⁰ Berthelot, 1886, p. 102.

¹²¹ Hofer, 1872, p. 1.

¹²² Le Roux, 1869, p. 109.

¹²³ Schützenberger, 1898, p. 4.

¹²⁴ Violle, 1883-92, I, p. 32.

empiriche, finiscono sotto l'impulso dei progressi scientifici per rientrare nelle leggi generali della meccanica » (Cornu 1896)¹²⁵. La fiducia nelle leggi della meccanica e nella loro capacità esplicativa illimitata coesisteva (salvo eccezionali casi di coerenza, come Bertin) con lo scetticismo teorico, con un rigido sperimentalismo. Si trattava di una convinzione che rimaneva sullo sfondo della cultura scientifica dell'età del positivismo e che non interveniva concretamente a determinare la direzione delle ricerche, le quali potevano svolgersi svincolate da ogni particolare modello meccanico, anzi in generale prescindevano da qualsiasi considerazione modellistica, sempre sospetta in quanto ipotetica, limitandosi alla raccolta e alla sistematizzazione di fatti fenomenici. Anche i fisici francesi positivisti furono dunque « meccanicisti », ma in un modo ben diverso dai fisici d'inizio secolo. Un'ulteriore variante del meccanicismo era nel frattempo sorta in Gran Bretagna.

12. - L'INDUTTIVISMO DELLA FISICA BRITANNICA NEI PRIMI DECENNI DELL'OTTOCENTO.

Mentre l'ambiente scientifico francese dei primi anni dell'ottocento fu caratterizzato dal predominio di una ben definita scuola di pensiero, quella ispirata da Laplace, la scienza britannica fu dominata dall'individualismo¹²⁶. Le molteplici, antiche istituzioni dedite alla ricerca e le altrettanto gloriose università esistenti non erano centri di cooperazione o di ricerca scientifica organizzata ma ambiti in cui ognuno perseguiva i propri particolari programmi, in genere senza creare alcuna scuola. Dominava l'autodidattismo, la figura dell'amatore, del curioso di cose scientifiche e, forse ancor di più, delle loro possibili applicazioni pratiche. Le istituzioni e, a maggior ragione, i singoli studiosi dovevano contare solo sulle proprie forze ed erano sconosciuti gli aiuti, le attenzioni, le opportunità che lo stato francese offriva ai propri scienziati.

¹²⁵ Cit. in L. Poincaré, 1908, p. 14.

¹²⁶ Sui caratteri teorici e istituzionali della scienza britannica all'inizio del XIX secolo esiste una bibliografia vastissima. Oltre ai lavori su singoli scienziati citati più avanti, tra i più recenti studi generali segnaliamo: Taylor, 1952; Foote, 1954; Williams, 1962; Cardwell, 1957 e 1968; Basalla, 1970; Silver - Teague, 1970; Olson, 1970 e 1971; Bishop, 1971; Morrell, 1971 b, 1972 e 1974; Roderick - Stephens, 1972; Stephens - Roderick, 1973; Thackray, 1974; Shapin - Thackray, 1974; Berman, 1975 e 1978; Robertson, 1976; Smith, 1976 e 1978; Kargon, 1977; Cannon, 1978; Knight, 1978; Schweber, 1980.

Non esisteva, come in Francia, un quadro concettuale netto, ben definito come quello laplaciano che, o come guida alla ricerca o come bersaglio per la critica, fornisse il tono generale all'ambiente scientifico. L'identificazione laplaciana tra newtonianesimo e forze a distanza non trovò oltremarica sostenitori entusiasti e qui continuò a dominare quella forma di newtonianesimo assai più elastica, plurima e un po' confusa, con fortissima preponderanza dello sperimentalismo e scarso peso della matematica che era stata presente nel secolo precedente. Era un newtonianesimo in cui si venivano ad aggiungere anche gli echi del dinamismo di Leibniz (quello di Boscovich non era mai scomparso) e della *Naturphilosophie* tedesca¹²⁷.

Se si dovesse indicare un aspetto della scienza inglese che è più generalizzabile di altri, senza alcun dubbio questo sarebbe l'induttivismo, la diffidenza per le teorie « troppo » ipotetiche, la convinzione che una nuova era di eccitanti scoperte sperimentali si apriva di fronte all'umanità. Quest'aspetto fu particolarmente evidente nella cultura scozzese.

Nelle università scozzesi vi era un notevole interscambio tra cultura scientifica e cultura filosofica¹²⁸. La filosofia dominante era quella del senso comune che, inizialmente in forme rigide con Thomas Reid, poi via via in forme più elastiche con Thomas Brown, Dugald Stewart e William Hamilton, sostenne attraverso una rilettura in chiave baconiana di Newton un empirismo ristretto, una concezione strumentale della matematica e una estrema diffidenza verso le ipotesi, tutte posizioni, queste, che si ritrovano anche negli scienziati scozzesi di quegli anni, da John Robison a John Playfair, a Leslie, a Brougham. Particolarissima attenzione fu rivolta in questo ambiente al ragionamento analogico che, anche se riconosciuto fonte di pericolosi trabocchetti, fu comunque considerato strumento primario di ispirazione per la ricerca scientifica.

Attorno al 1830, in coincidenza con un grande dibattito sullo stato della scienza inglese che ebbe nel *Decline* di Charles Babbage¹²⁹ il suo più celebre documento, si svolse una ampia discussione sulla teoria della luce di Fresnel¹³⁰. I fisici scozzesi la respinsero in quanto ipotetica, es-

¹²⁷ Cfr. Williams, 1961; Spencer, 1967-68; Knight 1967 a, 1967 b e 1970; Heimann, 1971 a; Rossi, 1976.

¹²⁸ Sui rapporti tra filosofia e scienza in Scozia nell'Ottocento il testo di riferimento d'obbligo è Olson, 1975. Cfr. anche Davie, 1964; Morrell, 1971 a e 1971 c; Cantor, 1971 e 1977; Shapin, 1974; Christie, 1976 (utile è anche Idem, 1974).

¹²⁹ Babbage, 1830.

¹³⁰ Cfr. Cantor, 1975.

sendo fondata sulla nozione di etere ottico, mentre il cosiddetto « gruppo di Cambridge » (Herschel, Whewell, George Airy e Baden Powell)¹³¹ si impegnò a sostenere con la teoria ondulatoria di Fresnel una concezione metodologica meno rigidamente induttivista. Il frutto più importante di questo dibattito anche metodologico fu il *Preliminary Discourse* di Herschel¹³².

In questo testo Herschel¹³³ difendeva certo contro una visione troppo ristretta dell'empirismo teorie apparentemente lontane dall'esperienza, com'era appunto quella di Fresnel, ma le interpretava quali prodotti di un metodo di scoperta, una « engine of discovery » che vuol essere ancora rigorosamente empirista. Per Herschel è ovviamente esclusa la possibilità di conoscere le cause ultime dei fenomeni, la conoscenza scientifica è necessariamente limitata alle leggi fenomeniche che vengono generalizzate per servire da guida alla scoperta dell'interconnessione dei fenomeni particolari e come una specie di memoria artificiale. Tanto la costruzione delle leggi quanto la loro generalizzazione a principi teorici possono avvenire, e questa è una sottolineatura che contraddistingue il pensiero di Herschel, per due vie: o la via induttiva classica o tramite la formulazione di ipotesi, che a volte possono anche essere una mossa azzardata. L'essenziale è che poi, una volta formulate, tanto la generalizzazione induttiva quanto l'ipotesi vanno sottoposte allo stesso rigoroso controllo che avviene per mezzo della deduzione. In termini moderni si potrebbe dire che Herschel distingue tra « contesto della scoperta » e « contesto della giustificazione ». La deduzione che si inizia dalle leggi ci conduce a fatti individuali che costituiscono altrettante prove della bontà delle leggi stesse. Particolare importanza hanno quelle deduzioni che conducono a « casi cruciali » che permettono di decidere tra ipotesi rivali. Questo processo duplice, di induzione che può procedere anche per via ipotetica e di deduzione, non si arresta mai perché tanto i fatti da cui parte il processo induttivo quanto quelli cui giunge per via deduttiva non sono mai fatti assolutamente elementari, semplici, ma sono sempre suscettibili di analisi più approfondite. La scienza continua a procedere ragionando su osservazioni per elaborare leggi e controllando queste per mezzo di esperimenti. In questo suo processo senza sosta la

¹³¹ Cfr. Todhunter, 1876; Cannon, 1964; Marcucci, 1969 e 1970; Belsey, 1974; Schagrin, 1973; Ruse, 1976; Yeo, 1979; Becher, 1980.

¹³² Herschel, 1830.

¹³³ Su Herschel cfr. Cannon, 1961; Ducasse, 1966; Lovell, 1968; Agassi, 1969; Buttmann, 1970; Shorland, 1973; Wilson, 1974 b; Bellone, 1976, p. 78 e ss.

ricerca può giungere a costruzioni teoriche altamente complesse, a delle ipotesi apparentemente lontane dall'esperienza, ma che in realtà trovano nel mondo esterno la loro conferma e la loro origine.

13. - L'INTERESSE PER LO STUDIO DEI MEZZI CONTINUI.

La discussione sulla teoria di Fresnel suscitò un grande interesse per lo studio dei mezzi continui, di cui l'etere ottico appariva un caso particolare¹³⁴. L'approccio tradizionale al problema derivato dalla scuola francese incontrava difficoltà notevoli e la teoria dei fluidi ordinari sembrava inadatta alla comprensione dell'etere ottico in base ai principi della meccanica¹³⁵. Nel 1837 George Green presentò un nuovo metodo per vedere se le proprietà richieste all'etere dai fenomeni ottici sono conformi alle leggi della dinamica. Il metodo consisteva nello stabilire la funzione energia potenziale di Lagrange da cui l'azione del mezzo dipende e quindi derivare direttamente da essa, senza l'intermediario di un modello, le leggi dell'ottica¹³⁶. Nel 1839 Mac Cullagh riuscì a dimostrare che con questo metodo era possibile arrivare alle leggi dell'ottica di Fresnel. Questo metodo di giustificazione puramente dinamica, non modellistica, incontrò nell'immediato scarso successo e solo negli anni '60 verrà apprezzato in tutto il suo valore.

Negli anni '40 Stokes partì ancora da una concezione modellistica per cercare di risolvere i numerosi problemi aperti dal rapporto tra meccanica e etere ottico. Il suo non è un modello particellare, è un modello di fluido ideale, ispirato all'idrodinamica di Euler, in cui le proprietà di elasticità e di viscosità sono considerate proprietà del mezzo non riducibili, o comunque non ridotte, alle proprietà dei suoi componenti. In questo modo Stokes veniva a proporre l'idea di un etere ottico concepito come sostanza continua ontologicamente differente dalla materia ordinaria. Quest'idea produsse la diffusione di una concezione continuista della realtà, prima ancora del sorgere della nozione di campo in Faraday,

¹³⁴ Nel 1849 Moon contò ben 15 modelli ricalcati sulla teoria dei fluidi che erano stati seriamente discussi dagli scienziati inglesi. Cfr. Moon, 1849, p. ix.

¹³⁵ Su queste vicende cfr. Moyer, 1973, 1977 e 1978; Giusti Doran, 1975; Crosland-Smith, 1978; Buchwald, 1980.

¹³⁶ Tutti i lavori citati nella nota precedente si occupano di Green. Su questa figura importantissima per il pensiero inglese mancano però studi specifici di una certa ampiezza. Il riferimento d'obbligo è Green (1946).

¹³⁷ Su Stokes cfr. Wilson, 1972; De Kosky, 1980.

anzi è stato suggerito¹³⁸ che fu proprio l'idea di etere luminifero continuo, già radicata in Stokes e nel suo gruppo di cui faceva parte anche il futuro Lord Kelvin, a influenzare il passaggio compiuto da Faraday da una visione del campo composto da particelle contigue ad un'altra genuinamente continuista in cui la primarietà spetta alle linee di forza¹³⁹. Naturalmente la piena affermazione del concetto di continuo si avrà solo grazie alla formulazione della teoria elettromagnetica incentrata sulla nozione di campo e della teoria dell'atomo-vortice di Thomson. Questo passaggio dal mondo discontinuo dell'azione a distanza a quello continuo era una rottura assai grande rispetto lo schema laplaciano, ma fu compiuto in Gran Bretagna senza troppi clamori in quanto qui il pensiero di Laplace non era divenuto paradigma dominante, nessuno aveva enfatizzato, com'era stato fatto in Francia, il valore universale del modello laplaciano e il conflitto continuo-discontinuo che aveva attraversato tutto il newtonianesimo settecentesco mai si era chiuso con la vittoria schiacciante dell'azione a distanza.

Lo studio dei mezzi continui fu dal 1846 al centro del programma di ricerca del giovane Thomson¹⁴⁰ per elettricità, ottica e magnetismo. Questo programma non si configurava affatto in termini riduzionisti: studiare un problema di elettricità per mezzo di un problema di elasticità non significava, per Thomson, ridurre l'elettricità all'azione di un mezzo meccanico, ma soltanto scoprire delle analogie matematiche tra due ordini fenomenici in modo da poter trasporre le soluzioni matematiche già ottenute per l'uno, nell'altro¹⁴¹.

La ricerca di analogie matematiche tra campi fenomenici distinti in luogo del riduzionismo modellista caratterizzò la metodologia di Thomson negli anni '40. Si trattava di una metodologia che certo trovava in Fourier¹⁴², la cui lettura ebbe un peso assolutamente determinante nella formazione di Thomson, un aggancio preciso nella critica del

¹³⁸ Giusti Doran, 1975, p. 163.

¹³⁹ Su Faraday, tra le molte pubblicazioni, cfr. Williams, 1965; Spencer, 1967-68; Levere, 1968; Heimann, 1971 a; Agassi, 1971; Lehrs, 1975; Smith, 1976 a; Gooding, 1978; Guralmick, 1979.

¹⁴⁰ Su William Thomson, poi Lord Kelvin, esiste una vastissima bibliografia. La fonte biografica più importante è Thomson, 1910; un altro saggio biografico non recente ma ancor valido è Crowther, 1948. Tra i saggi più recenti cfr. Bellone, 1971; Sharlin, 1975 e 1979; Wilson, 1974 a. Studi specifici su aspetti dell'opera di Thomson sono citati più avanti.

¹⁴¹ Su questo aspetto dell'opera di Thomson cfr. Buchwald, 1977; Wise, 1981.

¹⁴² Sull'influenza di Fourier in Gran Bretagna cfr. Herivel, 1972.

modellismo riduzionista e nell'affermazione contenuta nella *Théorie analytique* secondo cui l'analisi matematica « collega i fenomeni piú diversi e scopre le analogie nascoste che li uniscono », ma che si giustificava solo a partire dall'enfasi che la ricerca analogica aveva avuto nella filosofia e nella scienza scozzesi, cui Thomson aveva attinto ampiamente nei suoi studi a Glasgow.

14. - LA FISICA ENERGETICA.

Negli anni '50 Thomson mutò il proprio atteggiamento metodologico sotto la spinta di molteplici fattori, fondamentale per influsso della scoperta del principio di conservazione dell'energia che gli fece scorgere la possibilità di una unificazione dei vari rami della fisica fondata non piú sulla scoperta di analogie matematiche, non piú unificazione formale, ma unificazione sostanziale sulla base di concetti energetici¹⁴³.

Il merito di avere per primo tracciato con chiarezza il programma di una riformulazione della fisica incentrata sul concetto di energia spetta ad un altro appartenente alla scuola scozzese, William Rankine¹⁴⁴.

Riprendendo la distinzione di Herschel tra una ricerca puramente induttiva e una che procede in via ipotetica, Rankine sottolineò l'esistenza di due tipi possibili di teorie scientifiche, le teorie esplicative e le teorie astrattive. Le prime procedono per astrazioni induttive, le seconde per ipotesi. Lo scopo di ogni scienza fisica è raggiunto in due stadi. Dapprima le leggi dei fenomeni sono determinate dall'osservazione e dalla sperimentazione. Poi le leggi di un'intera classe di fenomeni sono ridotte a una teoria fisica. Una teoria fisica (e questa definizione sarà molto ammirata da Duhem) è « il piú semplice sistema di principi da cui tutte le leggi della classe di fenomeni possono essere dedotte come teoremi »¹⁴⁵. Essa consta di definizioni, di assiomi e delle loro conseguenze. « Una proposizione stabilisce proprietà comuni a una classe di oggetti esistenti, o fenomeni reali, e un assioma fisico stabilisce una legge generale delle relazioni dei fenomeni »¹⁴⁶. Ora, nel metodo seguito dalle teo-

¹⁴³ Su questa svolta nell'impostazione di Thomson cfr. Smith, 1976c e 1977; Moyer, 1977; Wise, 1979.

¹⁴⁴ Sulla funzione svolta da Rankine nella fisica ottocentesca cfr. Henderson, 1932; Moyer, 1977; Hutchison, 1981a e 1981b; Channell, 1982.

¹⁴⁵ Rankine, 1855, p. 209.

¹⁴⁶ *Ibid.*, p. 9.

rie astrattive le classi di oggetti di cui tratta la teoria sono definite mediante la descrizione di proprietà. In quello ipotetico « una classe di oggetti o fenomeni è definita secondo una concezione congetturale della loro natura, concepita come formata in un modo che non appare ai sensi, per mezzo della modificazione di qualche altra classe di oggetti o fenomeni le cui leggi siano già conosciute »¹⁴⁷. Per la loro natura induttiva le teorie astrattive sono più certe di quelle esplicative. La meccanica — e questo era anche il parere di Herschel — è la sola teoria costruita secondo linee puramente astrattive, è un modello per le altre scienze. Da questo punto di vista è fuorviante legare il nome di Rankine a quel movimento di critica al meccanicismo che di lì a pochi anni cercherà di opporre i principi della termodinamica alla meccanica¹⁴⁸. Egli piuttosto vide nei nuovi principi la possibilità di erigere una teoria più ampia della meccanica, non in contrasto con essa, né fondata su principi metodologici differenti. Il principio di conservazione dell'energia permette infatti a parere di Rankine di costruire una teoria astrattiva più generale della meccanica, capace cioè di abbracciare un più vasto campo di fenomeni:

Invece di supporre le varie classi di fenomeni fisici costituite, in modo nascosto, da modificazioni del moto e della forza, distinguiamo le proprietà che queste classi possiedono in comune con ogni altra, e così definiamo classi più estese denotate da termini adatti. Per gli assiomi, che esprimono le leggi di queste classi più estese di fenomeni, costruiamo proposizioni comprendenti come casi particolari le leggi delle particolari classi di fenomeni comprese sotto le classi più estese. Così arriveremo a un corpo di principi, applicabili ai fenomeni fisici in generale, e che, essendo costruiti per induzione dai soli fatti, saranno liberi dall'incertezza che sempre accompagna anche quelle ipotesi meccaniche le cui conseguenze sono più pienamente confermate dall'esperienza¹⁴⁹.

La nuova fisica può essere costruita come teoria astrattiva, lungo linee puramente induttive, basandola non più sulle leggi della meccanica ma su quelle dell'energia. Le leggi energetiche specificano gli attributi dei sistemi che sono indipendenti da dettagli nascosti e perciò forniscono

¹⁴⁷ *Ibid.*, p. 210.

¹⁴⁸ Nei successivi sviluppi, soprattutto quelli che si ebbero in ambiente tedesco, il termine « energetica » assunse un significato diverso da quello originale e fu usato per indicare una concezione della teoria fisica da opporre criticamente, antagonisticamente alla meccanica. Il documento fondamentale a questo proposito è Helm, 1898, ma assai interessante è anche Lasswitz, 1893. La risposta più celebre all'attacco degli energetisti fu Planck, 1896.

¹⁴⁹ Rankine, 1855, p. 213.

una base su cui possono essere costruite teorie fisiche senza specifiche ipotesi su meccanismi nascosti.

Il programma di una nuova fisica energetica venne ripreso da Thomson e ebbe la sua prima importante concretizzazione nel grande *Treatise on natural philosophy* che Thomson pubblicò nel 1867 insieme con Peter Guthrie Tait. Questo trattato « rinnovò teoricamente la fisica. Esso era il primo lavoro di vasto respiro che incorporava pienamente e in modo consistente le leggi dell'energia »¹⁵⁰.

In questo fondamentale testo della fisica ottocentesca le leggi della dinamica, così come erano state riformulate da Lagrange, Green, Hamilton, Jacobi, ecc., non sono certo respinte, ma non sono neppure poste a fondamento dell'edificio teorico. Le equazioni generalizzate del movimento sono invece presentate come conseguenza delle leggi dell'energia. Con questa trattazione la dinamica astratta diventava, grazie alla garanzia offerta dal principio di conservazione dell'energia, veramente generale ed universale. La generalità era assicurata dalla circostanza che la riformulazione della dinamica qui fornita permette di eliminare la considerazione specifica delle strutture nascoste del sistema in esame e di descrivere i cambiamenti del sistema stesso qualsiasi siano i suoi meccanismi nascosti. Questa era una caratteristica già presente nella dinamica lagrangiana sia nella sua formulazione originale ad opera di Lagrange che in quelle successive, ma solo con Thomson essa venne posta in piena luce, valutata come una sostanziale innovazione metodologica e perfezionata dal punto di vista tecnico con l'elaborazione, da parte di Thomson, della teoria delle coordinate ignorabili¹⁵¹.

Questa nuova dinamica astratta che offriva metodi di trattazione che prescindono dalla conoscenza di modelli precisi non era, lo si è detto, sostanzialmente nuova, ma nuovi erano il vigore, l'ambizione, la generalità con cui essa venne usata dai fisici inglesi. Essa fu anche alla base della trattazione dell'elettromagnetismo che Maxwell compì nel suo celebre trattato e proprio Maxwell sottolineò quale grande merito spettasse a Thomson e Tait per aver pienamente esplicitato tutte le potenzialità che erano presenti nella dinamica astratta precedente. A giudizio di Maxwell la dinamica astratta era stata, prima dell'opera di Thomson e Tait, una teoria conosciuta e usata solo dai matematici; Thomson e Tait ne avevano compiuto una vera e propria riscoperta ponendola alla por-

¹⁵⁰ Moyer, 1977, p. 255.

¹⁵¹ Cfr. Thomson - Tait, 1867, I, pp. 320-327.

tata dei fisici. Per questo il *Treatise* rappresentava un grande evento metodologico¹⁵².

Agli occhi dei maggiori scienziati britannici la dinamica astratta offriva la possibilità di recuperare in forma matematicamente raffinata due dei pilastri su cui si era retta la tradizione metodologica anglosassone configuratasi nella prima metà del secolo: l'induttivismo e l'uso di modelli in funzione analogica.

Maxwell non esita a rovesciare Lagrange: mentre questi aveva voluto fare della meccanica una parte della matematica, il Lagrange riletto da Maxwell diventa il campione dell'induttivismo: la sua dinamica offre strumenti analitici che permettono di prendere in considerazione solo i movimenti osservabili del sistema in esame e grazie ad essi « il metodo della filosofia induttiva non sarà più deriso come un semplice tentativo a lume di naso »¹⁵³. E il *Treatise* di Thomson e Tait si apre con una citazione di Fourier che, nelle intenzioni degli autori, è un manifesto dell'induttivismo: « Le cause primordiali non ci sono affatto note; ma esse sono soggette a leggi semplici e costanti, che si possono scoprire mediante l'osservazione e il cui studio è l'oggetto della filosofia naturale ». Il « buon newtoniano » per Thomson e Tait si identifica con l'induttivista che vede nella sperimentazione la fonte primaria di conoscenza e (come aveva insegnato Herschel) assegna alla matematica una funzione strumentale. Di qui nascerà, ad esempio, una feroce opposizione alla teo-

¹⁵² « È a Lagrange, in primo luogo, che noi dobbiamo il metodo che ci rende capaci di rispondere a questa domanda senza affermare nulla di più o di meno di quanto si possa legittimamente dedurre dai fatti osservati. Ma sebbene questo metodo sia stato nelle mani dei matematici fin dal 1788, quando la *Mécanique Analytique* fu pubblicata, e sebbene alcuni grandi matematici, come W. R. Hamilton, Jacobi, ecc. abbiano dato importanti contributi alla teoria generale della dinamica è notevole con quale lentezza tra i fisici si sia diffuso l'uso di questi metodi. Ora, tuttavia, basta aprire una qualsiasi memoria di fisica per vedere come questi teoremi siano stati strappati dal santuario della più alta matematica nel quale tanto a lungo erano stati serbati, e impiegati in ogni genere di lavoro, facile o difficile, in tutto il campo delle scienze fisiche. Il merito di aver spezzato il monopolio dei grandi saggi della caverna e aver reso il loro linguaggio familiare per le nostre orecchie e i nostri discorsi quotidiani spetta in larga misura a Thomson e Tait. I due stregoni del nord furono i primi che, senza rimorsi o sacri terrori, espressero nella loro lingua materna i veri e propri nomi di quei concetti dinamici che i maghi dell'antichità erano abituati ad invocare solo con l'aiuto di simboli borbottati e equazioni inarticolate. Ed ora i più deboli di noi possono ripetere le parole della potenza e prendere parte alle discussioni di dinamica che solo pochi anni fa avremmo dovuto tralasciare per il nostro bene »: Maxwell, *Thomson and Tait's Natural Philosophy*, in Maxwell, 1890, II, p. 282.

¹⁵³ Cit. in Dohring, 1970, p. 234.

ria cinetica dei gas nella forma datale da Boltzmann accusato di occultare la natura dietro un « terrificante apparato di simboli »¹⁵⁴.

I dettami di un sano induuttivismo negavano la liceità di una ricerca di strutture nascoste e i metodi della dinamica lagrangiana la rendevano superflua, nonché destinata al fallimento. È celebre l'affermazione che Maxwell compì nel suo *Treatise*:

Il problema di determinare il meccanismo richiesto per stabilire una data specie di connessione tra i movimenti delle parti di un sistema ammette sempre un numero infinito di soluzioni. Di queste, alcune possono essere più rozze o più complesse di altre, ma tutte devono soddisfare le condizioni del meccanismo in generale¹⁵⁵.

È esclusa dunque, per ragioni metodologiche e teoriche, la possibilità di giungere alla scoperta del modello « vero », della realtà profonda delle cose. La ricerca modellistica non può avere come obiettivo quello del disvelamento della realtà. Il modello, se usato, può essere inteso solo come una analogia della realtà; il modello può solo essere fecondo, non vero, in linea con quanto andava dicendo da vari decenni la filosofia scozzese¹⁵⁶.

Il modello non è costruzione che ha primario valore razionale, come accadeva per la meccanica settecentesca, perché esso, pur essendo indubbiamente una costruzione intellettuale e in quanto tale distinto dalla realtà, vuol simulare alcuni comportamenti dei sistemi reali, vuol cioè rappresentare, imitare, aspetti della realtà fenomenica. Il modello non è neppure la mediazione indispensabile tra teoria e esperienza, com'era stato in Newton o in Laplace perché, grazie alla dinamica lagrangiana e alla lezione metodologica di Fourier, la teoria matematica poteva essere applicata direttamente all'esperienza senza bisogno di intermediari. Tantomeno il modello deve servire a ridurre i fenomeni indagati alla meccanica, innanzitutto perché esso non ne è capace, in quanto le inferenze che esso permette di stabilire tra meccanica e fenomeni sono di tipo analogico, non deduttivo e, in secondo luogo, perché già la dinamica astratta

¹⁵⁴ Su questo punto ha particolarmente insistito Bellone, 1976, pp. 37-90.

¹⁵⁵ Maxwell, 1873, II, nota 68 p. 470.

¹⁵⁶ « Il tentativo che ho fatto — dice Maxwell parlando del suo modello meccanico di etere elettromagnetico — di immaginare un modello funzionante di questo meccanismo deve essere inteso per quello che realmente è, nulla di più, cioè una dimostrazione che può essere immaginato un meccanismo capace di produrre una connessione meccanicamente equivalente alla connessione operante tra le parti del campo elettromagnetico » (Maxwell, 1873, p. 470).

poggiante sul principio di conservazione dell'energia svolge questa funzione: la possibilità di applicare le leggi della dinamica a un sistema fisico è di per sé un'assicurazione che questo sistema è al fondo di natura meccanica, anche se questa natura nei dettagli è destinata a rimanere ignota. In questo senso la fisica inglese fu meccanicista: anche se rinunciò alla pretesa di ridurre i vari campi della fisica alla meccanica tramite un modello essa era convinta che i fenomeni del moto, quindi le leggi della meccanica, fossero il substrato direttivo di ogni evento fisico, che l'energia le cui trasformazioni producono i vari fenomeni fosse di natura meccanica. Anche se tutti i discorsi sui modelli non vanno intesi alla lettera ma come illustrazioni, dice Maxwell, « nel parlare dell'energia del campo, tuttavia, voglio essere capito alla lettera. Tutta l'energia è energia meccanica, sia che essa si trovi sotto forma di movimento, o di elasticità, o sotto qualsiasi altra forma, L'energia nei fenomeni elettromagnetici è energia meccanica. L'unico problema è dove essa si trovi »¹⁵⁷.

Per questo motivo i modelli impiegati furono sempre di natura meccanica.

15. - OLTRE I LIMITI DELLA FISICA ENERGETICA: IL RITORNO AI MECCANISMI NASCOSTI.

Nel corso degli anni '60 si fece strada in Gran Bretagna la convinzione che la dinamica astratta fosse solo uno stadio della conoscenza possibile e che, per andare oltre, fosse necessario ritornare a dare un maggior peso ai modelli. Per Thomson e Tait¹⁵⁸ il limite fondamentale della dinamica lagrangiana sta nella sua applicabilità limitata ai soli sistemi conservativi. Il secondo principio della termodinamica veniva però a stabilire la non conservatività per i sistemi reali. A parere di Thomson e Tait per ristabilire il valore universale del principio di conservazione dell'energia occorre andare oltre il mondo dei fenomeni alla ricerca di quei meccanismi nascosti di cui la dinamica astratta può fare a meno di interessarsi. Il problema degli scambi termici sembrava richiedere una elucidazione in termini di un modello che doveva essere di carattere dinamico. Questa richiesta portava lontano dalle dimensioni osservabili delle conversioni dell'energia¹⁵⁹.

¹⁵⁷ Maxwell, 1864, p. 266.

¹⁵⁸ Cfr. Moyer, 1977.

¹⁵⁹ « È solo quando gli inscrutabili, minuti movimenti tra piccole parti, forse

A partire dal 1867 il programma di ricerca di Thomson si incentrò sullo studio dell'atomo-vortice¹⁶⁰: viene abbandonata la vecchia distinzione tra materia e mezzo circostante e l'atomo materiale è concepito come una struttura vorticosa a spirale in un etere continuo vibrante. La nuova visione delle particelle ultime della materia doveva servire ad affrontare il problema della interazione tra radiazione e materia, conciliando un etere continuo con le particelle materiali richieste dalla teoria cinetica del calore.

Per oltre trent'anni Thomson si impegnerà a sviluppare la teoria dell'atomo vortice in una serie di lavori di spiccato carattere modellistico assai diversi dalla fisica incentrata sulla ricerca di analogie formali degli anni quaranta, ma diversi anche dalla fisica energetica fondata sulla dinamica astratta degli anni cinquanta e sessanta.

Thomson si era ormai allontanato nettamente dagli insegnamenti metodologici di Fourier e sembrava assai vicino al modellismo laplaciano. Rispetto a questo vi erano però nella sua opera due differenze notevoli. Mentre i modelli ipotetici della fisica molecolare erano garantiti dalle sole conseguenze che da esse derivavano, Thomson pensa che il modello di atomo-vortice abbia anche una conferma indipendente, conferma *sui generis*, dovuta all'esistenza provata di sistemi reali osservabili, come gli anelli di fumo o le varie strutture meccaniche da lui progettate, i quali manifestano forti analogie con i modelli ipotetici, mentre le molecole « alla Laplace » non hanno nessun analogo macroscopico. I modelli della scuola laplaciana erano astrazioni, costruzioni dell'intelletto fondate sul concetto di punto materiale, i modelli della fisica di Thomson e di tutta la fisica anglosassone si richiamano a sistemi realmente esistenti, prodotti della natura o della tecnologia, addirittura ad oggetti d'uso comune. Quelli erano modelli matematici, questi sono modelli riproducibili concretamente con ruote dentate, bielle, cinghie, viti e bulloni.

In secondo luogo Thomson ritiene tutti i propri modelli, anche se indispensabili, anche se non eliminabili in favore della dinamica astratta,

le ultime molecole della materia, che costituiscono la luce, il calore e il magnetismo, e le forze intermolecolari dell'affinità chimica sono prese in considerazione insieme con i movimenti sensibili e le forze misurabili di cui veniamo a conoscenza per osservazione diretta, che possiamo riconoscere il carattere universalmente conservativo di tutte le azioni naturali dinamiche, e scorgere la presenza del principio di reversibilità nell'intera classe di azioni naturali che implicano resistenza, che sembrano violarlo » (Thomson - Tait, 1867, p. 195).

¹⁶⁰ Su questa terza fase della evoluzione scientifica di Thomson cfr., oltre a Moyer, 1977; Silliman, 1963; Gossick, 1976; Moyer, 1978; Smith, 1978.

delle imitazioni della natura, capaci soltanto di fornire, in linea con la tradizione scozzese precedente, delle analogie che aiutino nella elaborazione di una teoria matematica capace di produrre previsioni confrontabili con l'esperienza. Proprio per questo i modelli possono essere e sono cambiati in continuazione senza preoccupazioni di coerenza.

L'impiego dei modelli meccanici divenne negli ultimi decenni dell'Ottocento la caratteristica fondamentale della fisica di Thomson e dei suoi allievi. Ovviamente questo impiego massiccio di modelli aveva funzioni didattiche, ma questa funzione, anche se dal punto di vista storico fu importantissima, visti gli stretti legami che negli studiosi britannici avevano interessi scientifici, tecnologici e didattici, e serve a spiegare il dilagare di modelli meccanici su tutti i testi di fisica inglesi dell'ultima parte del secolo, dal punto di vista epistemologico e è evidentemente di scarso valore. Per Thomson il modello venne soprattutto ad avere insostituibili funzioni euristiche, aiutandolo in maniera essenziale nel lavoro di costruzione delle teorie matematiche. Fu strumento indispensabile del processo di approfondimento della conoscenza di una realtà che sta oltre i fenomeni. Sicuramente la costruzione di un modello meccanico non garantiva in alcun modo la teoria che esso aveva contribuito a costruire e la validità di questa riposava esclusivamente da un lato sull'esperienza, dall'altro sulla corretta applicazione del ragionamento matematico. Tuttavia non vedo perché si debba ritenere in qualche modo eliminabile per Thomson l'uso dei modelli. Solo una storia immaginaria può sostenere che egli avrebbe potuto produrre le proprie teorie matematiche anche senza ricorrere all'aiuto dei modelli: di fatto egli fece un grande uso di considerazioni modellistiche e non v'è ragione di dubitare della piena sincerità delle sue dichiarazioni tanto celebri del 1884¹⁶¹: « Io non sono mai soddisfatto sino a che non sono riuscito a fare un modello meccanico dell'oggetto in questione; se posso fare un modello meccanico allora comprendo; se non posso fare un modello meccanico allora non comprendo ».

16. - LA COMPLESSA METODOLOGIA DI MAXWELL.

Anche per Maxwell¹⁶² la dinamica astratta, pur essendo vera al di là di ogni dubbio, è limitata allo studio dei sistemi conservativi. Egli di-

¹⁶¹ Thomson, 1884.

¹⁶² Maxwell è lo scienziato ottocentesco oggi più studiato. Tra i molti titoli

stingue, come Thomson, tra teorie dinamiche e teorie fisiche. Forse influenzato dall'insegnamento filosofico di Hamilton che, kantianamente, distingueva tra conoscenza a priori e conoscenza sensibile¹⁶³, Maxwell ritiene che una teoria dinamica sia costruzione a priori certa, necessaria: « I corpi di cui trattiamo nella dinamica astratta sono completamente conosciuti esattamente allo stesso modo delle figure di Euclide. Essi hanno solo quelle proprietà che noi assegnamo loro esplicitamente »¹⁶⁴. Una teoria fisica è invece empirica, contingente e ipotetica e d'altra parte per raggiungere una conoscenza completa dei fenomeni è indispensabile andare oltre la teoria che impiega i metodi della dinamica astratta e costruire una teoria fisica. Se il lavoro sulla elettricità e il magnetismo¹⁶⁵ faceva uso preponderante dei metodi lagrangiani ottenendo una teoria dinamica (incompleta), nello studio del problema del calore, ove apparentemente è violato il principio di conservazione dell'energia, Maxwell dovette usare un altro metodo, impiegando il calcolo statistico e un approccio modellistico¹⁶⁶.

La differenza tra la metodologia del Maxwell che studia l'elettromagnetismo con l'aiuto della dinamica lagrangiana usando i modelli sono con funzione analogica o addirittura facendone a meno, e il Maxwell che studia la teoria cinetica dei gas riflettendo su un modello ipotetico particolare ha sempre colpito gli studiosi ed è spesso stata indicata come una incongruenza nel pensiero di Maxwell¹⁶⁷.

Nelle sue dichiarazioni metodologiche Maxwell ha sempre presentato il proprio modo di far fisica come un'alternativa tanto alla impostazione di Fourier, quanto al modellismo laplaciano¹⁶⁸. Le equazioni di una

esistenti segnaliamo i più recenti, che sono andati rivelando una sempre crescente complessità nella figura del grande scienziato. La *biografia classica* è comunque ancora Campbell-Garnett, 1882; tra i lavori generali cfr. Agazzi, 1972; Everitt, 1975; D'Agostino, 1978; Domb, 1980. Per lavori su aspetti specifici si vedano le note successive.

¹⁶³ Cfr. Simpson, 1970.

¹⁶⁴ Maxwell, 1890, II, p. 779.

¹⁶⁵ Su questo aspetto dell'opera di Maxwell, che rappresenta uno dei capitoli più studiati della storia della scienza ottocentesca cfr. Turner, 1956; Tricker, 1966; Simpson, 1966 e 1970; Bork, 1967; Bromberg, 1967; Heimann, 1970 b e 1971 b; Hesse, 1973; Chalmers, 1973 a e 1973 b; Siegel, 1975; Mack, 1977; Moyer, 1978.

¹⁶⁶ Sul contributo di Maxwell alla termodinamica cfr. Bernstein, 1963; Heimann, 1970 a; Dorling, 1970; Garber, 1970; Daub, 1970-71; Brush, 1971; Bauca, 1973; Porter, 1981.

¹⁶⁷ Cfr. ad esempio Olson, 1975, p. 311.

¹⁶⁸ Cfr. Kargon, 1969.

teoria possono « prendere la forma di una formula puramente matematica o di una ipotesi fisica. Nel primo caso noi perdiamo completamente di vista il fenomeno da spiegare e sebbene possiamo ricavare le conseguenze delle leggi date non potremo mai ottenere visioni più estese delle connessioni in esame. Se, d'altra parte, adottiamo una ipotesi fisica, vediamo i fenomeni solo attraverso uno schermo »¹⁶⁹. Il metodo delle analogie dovrebbe essere intermedio tra quello di Fourier e quello di Laplace. Ma nel caso della teoria cinetica dei gas non sembra evidente quale sia la differenza con il metodo ipotetico di Laplace¹⁷⁰.

La differenza con il modellismo laplaciano, se ci si limita a considerare lo *status* conoscitivo dei modelli impiegati da Maxwell nella teoria cinetica, appare una differenza di grado piuttosto che di qualità: per entrambi il modello ipotetico è indispensabile, per entrambi esso è provato solo dalle sue conseguenze, per entrambi non va confuso con la realtà. In Maxwell si ha una maggior enfasi nel sottolineare questa distinzione tra modello teorico, che è un semplice schema concettuale, e la natura cui noi tentiamo di imporre questo modello:

le molecole hanno proprie leggi, alcune delle quali sono scelte da noi in quanto più intelleggibili e più comode per i nostri calcoli. Ogni deviazione dalle leggi scelte è attribuita a un disturbo, ma questi disturbi non sono altro che circostanze che noi non abbiamo preso in considerazione¹⁷¹.

Ma se si considera qual è la richiesta fondamentale che viene fatta al modello che si impiega, la funzione che deve svolgere nella costruzione della teoria, allora la differenza tra modellismo laplaciano e maxwelliano risulta chiara. Mentre Laplace al modello chiedeva la costruzione di una teoria fisica unitaria, Maxwell chiede il suggerimento di analogie, così come aveva fatto nei suoi studi sull'elettromagnetismo, anche se nella teoria cinetica l'impiego del modello non è sostituibile da

¹⁶⁹ Cit. in Olson, 1975, p. 299.

¹⁷⁰ Su questa difficoltà interpretativa cfr. soprattutto Dorling, 1970. Secondo Dorling Maxwell parte da un'assunzione generalissima, del tipo « il sistema è un sistema materiale », cioè si comporta in accordo con le leggi di Newton, poi da questa ipotesi e da alcune ben note leggi macroscopiche sui gas deriva l'assunzione base della teoria cinetica dei gas, cioè che il gas è composto di particelle in moto violento. Pur tralasciando le lacune presenti nella logica di questa « dimostrazione » (che Dorling ha sottolineato), va rilevato che l'ipotesi che il gas sia composto di particelle in moto violento da sola non è certo sufficiente a costruire l'intera teoria cinetica e Maxwell dovette fare ben altri assunti ipotetici, la cui unica giustificazione era data dalle loro conseguenze controllabili.

¹⁷¹ Cit. in Heimann, 1970 a, p. 206.

nessuna dinamica astratta: « Se le proprietà di questo sistema di corpi sono state trovate corrispondenti a quelle dei gas, un'importante analogia fisica sarà stabilita, che ci permetterà di raggiungere una piú accurata conoscenza delle proprietà della materia »¹⁷².

Tutta la tradizione illuminista di cui Laplace rappresenta un coronamento in campo scientifico era dominata dall'idea di una unitarietà della natura cui doveva corrispondere, almeno programmaticamente, un ideale di scienza altrettanto unitaria. In Maxwell questo ideale non è operante: per lui la natura piú che un libro composto di parti interconnesse è un « *magazine* », una rivista, un insieme se non disarticolato di parti disgiunte certo molto articolato, per il quale possiamo stabilire in fondo solo nessi analogici¹⁷³. Nessun modello per Maxwell poteva avere la pretesa di avere un campo di validità estendibile a tutta la fisica. Addirittura Heimann ha sostenuto che Maxwell ha messo in discussione la possibilità di trasferire i principi newtoniani della dinamica al moto delle molecole¹⁷⁴.

La interconnessione tra settori fenomenici apparentemente lontani tra di loro era da Maxwell affidata alla matematica (questo era in fondo l'insegnamento piú fecondo di Fourier trapassato in Inghilterra). Il modello può certo essere indispensabile alla costruzione di una teoria matematica, ma in questo si esaurisce la sua funzione. Ciò che realmente conta è la teoria matematica che sulla base del modello è stata costruita. Questa va mantenuta come un risultato ben fermo; un particolare modello, non svolgendo piú la funzione vitale che gli aveva assegnato Laplace, può essere lasciato cadere allorquando ci si vuol occupare di altri settori fenomenici, oppure affrontare lo stesso settore da differenti punti di vista. Ciò che conta, nelle teorie di Maxwell, sono le equazioni, come vide giustamente Hertz¹⁷⁵. In questo Maxwell fu differente da Thomson, che negli ultimi decenni della sua vita giudicò sempre una teoria accettabile inscindibile dai modelli su cui era stata costruita.

Ma se le equazioni sono il cuore della teoria, qualunque strada permetta di giungere ad esse è allora una strada lecita. E infatti Maxwell fu assertore di un pluralismo metodologico che non trova riscontro in Thomson:

¹⁷² Cit., *ibid.*, p. 206.

¹⁷³ Cfr. Olson, 1975, p. 290 e ss.

¹⁷⁴ Heimann, 1970 a, p. 199.

¹⁷⁵ Sui rapporti tra Maxwell e Hertz cfr. Süsskind, 1964; Simpson, 1966; Heimann, 1971 b; D'Agostino, 1971 e 1975.

Ci sono uomini che, allorché una relazione o una legge, comunque complessa, è posta dinanzi a loro in forma simbolica, possono comprenderla appieno come relazione tra quantità astratte. Tali uomini qualche volta trattano con indifferenza l'ulteriore affermazione che in natura esistono realmente le quantità contenute nella relazione. L'immagine mentale della realtà concreta sembra disturbarli piuttosto che aiutare le loro contemplazioni. Ma la grande maggioranza delle intelligenze sono incapaci senza un lungo allenamento di tenere a mente i simboli non incarnati del matematico puro ... Nell'interesse di questi tipi differenti, la verità scientifica dovrebbe essere presentata in forme differenti e dovrebbe essere considerata ugualmente scientifica, sia che appaia nella forma robusta e nei vividi colori di una illustrazione fisica o nel pallore e nei colori tenui di una espressione simbolica ¹⁷⁶.

Sicuramente Maxwell preferì di gran lunga rivestire « di carne » i propri concetti matematici, reinterpretò i simboli lagrangiani in termini fisici, preferì la geometria, più intuitiva, all'algebra, esaltò il calcolo dei quaternioni di Hamilton perché le operazioni con questo calcolo hanno sempre un significato fisico, usò modelli laddove fu utile. Purtuttavia, proprio perché per lui erano le equazioni matematiche quelle che realmente costituivano il nucleo di ogni teoria, si spinse anche là dove i simboli matematici diventavano fantasmi sempre più pallidi, evanescenti, di realtà fisiche.

Le famose equazioni del campo elettromagnetico sono un esempio di relazione simbolica che pose ai suoi contemporanei gravi problemi di interpretazione fisica: la celebre soluzione di Hertz di ridurre la teoria di Maxwell alle equazioni di Maxwell non fu accolta dai colleghi inglesi che sempre ne ricercarono una interpretazione modellista.

La metodologia di Maxwell era estremamente complessa: inglobava la dinamica astratta, il metodo della trasposizione analogica di soluzioni matematiche, un uso dei modelli apertamente analogico e un uso apparentemente « laplaciano », sfociava sempre in un raffinato formalismo matematico. Maxwell aveva indubbi interessi filosofici ed epistemologici e compì alcune riflessioni sul tipo di scienza che andava costruendo; le riflessioni non furono sufficientemente chiarificatrici, né sempre Maxwell dimostrò di rendersi conto pienamente di quanto stava facendo: Poincaré potrà accusarlo di aver messo in una nota quasi alla fine del libro l'aspetto metodologicamente più interessante del suo *Treatise*. Ma almeno Maxwell si pose il problema del metodo. Non così fecero gli altri fisici

¹⁷⁶ Maxwell, 1890, II, pp. 219-20.

¹⁷⁷ Sull'ambiente inglese degli ultimi decenni dell'Ottocento cfr. Topper, 1971;

inglesi: nell'ambiente scientifico inglese di fine secolo ¹⁷⁷ l'interesse per la metodologia scientifica era completamente assente; si producevano grandi idee, in particolare Larmor preparava una nuova visione elettromagnetica della natura in anticipo su Lorentz, impiegando tutti i metodi di indagine tipici della tradizione precedente senza porsi problemi sulla loro chiarezza o, tantomeno, sulla loro compatibilità. Studiando la fisica inglese dopo il 1880 la Doran ha recentemente parlato di « sviluppo eclettico »: « Il metodo dei fisici inglesi durante questi anni fu in uno stato di flusso in cui la giustificazione dinamica e il formalismo matematico gareggiavano con il modellismo meccanicista » ¹⁷⁸.

Questa fisica dal metodo caotico, dalle numerose incongruenze, era capace comunque di produrre teorie geniali, idee fecondissime ¹⁷⁹. Essa si abbatté come un ciclone sulla vecchia fisica classica in cui si crogiolavano i francesi, sconvolse le loro radicate convinzioni e li costrinse a un ripensamento profondo, da condursi dal tradizionale punto di vista della chiarezza e del rigore cartesiani.

Wilson, 1971; Crowther, 1972 e 1974; Jolly, 1974; Giusti Doran, 1975; Gossick, 1976; Trenn, 1977; Knudsen, 1978; Buchwald, 1979 e 1981; Bunge - Shea, 1979.

¹⁷⁸ Giusti Doran, 1975, p. 207.

¹⁷⁹ Questo miscuglio di genialità e di oscurità, collegato ad una ideologia in cui uno spregiudicato uso di tutte le potenzialità del pensiero scientifico conviveva sovente in forme affatto chiare con credenze filosofiche e religiose tradizionaliste, è stato oggetto di una ricca pubblicistica a carattere non strettamente epistemologico sulla « scienza vittoriana »: cfr. Houghton, 1957; Heimann, 1972; Saffin, 1973; Wilson, 1974 a e 1977; Turner, 1974 e 1978; Knoepfemacher - Tenyson, 1977. Utilissimi repertori di citazioni e di preziose indicazioni bibliografiche sono ancora Kneller, 1906 e Eymieu, 1928-35.

CAPITOLO SECONDO

LE ORIGINI DEL CONVENZIONALISMO DUHEMIANO

1. - IL RISVEGLIO DELLA FISICA FRANCESE.

Gli anni che vanno dalla sconfitta subita dalle armate francesi a Sedan alla affermazione della repubblica segnarono una svolta profonda nel campo della cultura francese¹. L'ambizione dei fondatori della repubblica era quella di metter fine, per mezzo della secolarizzazione della società e dello sviluppo dell'istruzione, alle credenze e ai sistemi di valori tradizionali e di sviluppare gli ideali dei Lumi e del progresso. Anche tra i monarchici e i conservatori si fece rapidamente strada il desiderio di rinnovare, ridare slancio alla organizzazione culturale, nella convinzione che ciò avrebbe contribuito a portare i francesi al livello dei prussiani: si diceva che la Prussia avesse vinto la guerra del 1870-71 grazie ai suoi maestri elementari². Il problema della riforma del sistema educativo divenne tema dominante nel dibattito politico dopo il 1875.

A livello delle istituzioni di istruzione superiore³ gli uomini della

¹ Non è certo qui il caso di tentare di dare una bibliografia degli studi esistenti sulla cultura francese della seconda metà del XIX secolo. Segnalerò, senza alcuna pretesa di organicità e completezza, quei lavori che mi hanno aiutato nel formarmi uno « sfondo » culturale su cui far muovere la figura di Duhem: BOUTROUX, 1908; PARODI, 1919 e 1920; CRESSON, 1927 e 1951; BAILLOT, 1927; BENTUBI, 1933; EASTWOOD, 1936; WEINBERG, 1937; CHARLTON, 1959; CAPÉLAN, 1961; DU PLESSIS, 1972. Altri lavori su temi specifici, ma pur sempre di « cultura generale », sono citati più avanti.

² Sull'impatto avuto dalla sconfitta subita ad opera delle armate prussiane sulla cultura francese cfr. CARRÉ, 1947; DIGEON, 1959 (testi che però trascurano la scienza); PAUL, 1972 a; CROSLAND, 1976 a.

³ Sulle istituzioni di istruzione superiore e di ricerca francesi della seconda

terza repubblica, per neutralizzare i vecchi gruppi dominanti legati alle grandi scuole centrali, rafforzarono le istituzioni alternative a queste ultime, segnatamente le facoltà universitarie, che sotto il secondo impero erano state strettamente legate all'istruzione secondaria e praticamente spogliate di ogni funzione di ricerca. Una prima riforma si ebbe nel 1877 con un aumento del personale universitario e lo stabilimento di un *curriculum* di studi (prima inesistente) per cercare di aumentare il numero e la qualità degli studenti regolarmente iscritti. Una riforma piú ampia, indotta anche dalla necessità di competere con le facoltà cattoliche di scienze di nuova formazione, si ebbe nel periodo 1893-1896 ma, come ha recentemente mostrato la Shinn⁴, già prima di quella data la ricerca universitaria nel campo della matematica, della fisica e della chimica aveva conosciuto una vivace ripresa. Al rinvigorimento dell'attività di ricerca corrispose anche una serie di iniziative organizzative, quali la fondazione di nuove associazioni e nuove riviste, con le quali la comunità scientifica mostrava di avvertire, almeno parzialmente, l'esigenza di darsi una struttura piú compatta, superando il tradizionale individualismo, e piú aperta verso l'estero.

Per la fisica, D'Almeida fondò nel 1872 il *Journal de Physique*, con lo scopo di « esporre le teorie piú recenti o le meno conosciute, di descrivere le esperienze sulle quali esse riposano... sperando cosí di vivificare l'insegnamento, eccitare lo spirito di ricerca e provocare scoperte »⁵. Il 17 gennaio dello stesso anno nacque la *Société Française de Physique*⁶ che voleva essere un punto di incontro tra i vari ricercatori che in precedenza operavano assai divisi l'uno dall'altro. Una lettura dell'organo ufficiale della società, il *Bulletin de la Société de Physique*, rivela che ancora per vari anni l'ambiente dei fisici francesi continuò ad essere dominato dal netto disinteresse per la fisica teorica, che aveva rappresentato l'aspetto piú caratterizzante del positivismo scientifico del Secondo Impero: la descrizione degli esperimenti occupa gran parte dello spazio a disposizione, gli stessi argomenti di cui si occupò la società nelle sue sedute furono solo in minima parte rivolti alla discussione delle nuove teorie provenienti dall'estero. Per caratterizzare il persistere del-

metà del XIX secolo cfr., oltre al classico Liard, 1888-94; Callot, 1959; Gerbod, 1965; Prost, 1968; Clark, 1973; Nye, 1975; Anderson, 1975; Ben-David, 1975; Crosland, 1978 b; Shinn, 1979; Fox - Weisz, 1980.

⁴ Shinn, 1979.

⁵ Cit. in Brillouin, 1925, p. 8.

⁶ Cfr. Brillouin, 1925.

l'isolamento dell'ambiente francese rispetto alla produzione teorica straniera sono anche assai significative le analisi che Bertin, indubbiamente uno degli scienziati francesi piú validi e piú rappresentativi degli anni '70 e '80, andava facendo sugli *Annales de Physiques* attorno ai piú svariati settori di ricerca: esse lasciano da parte le produzioni scientifiche straniere e, allorquando trattano di questioni teoriche, lo fanno sempre con una notevole venatura di scetticismo, nella convinzione che la fisica sperimentale sia piú importante, piú solida e, tutto sommato, piú seria, della fisica teorica, a conferma delle posizioni che già Bertin esprimeva negli anni '50.

L'ambiente dei fisici ancora negli anni '80 era prevalentemente interessato alla fisica sperimentale e continuava a specchiarsi nel celebre testo di Jamin di cui si è parlato nel primo capitolo:

La fisica, soprattutto in Francia, era allora — ha scritto Pierre Humbert ricordando gli anni della sua giovinezza — una scienza in primo luogo sperimentale. A partire dallo straordinario Regnault, che, risolutamente ostile a tutto ciò che sapeva di matematica o di filosofia, fece fare, con la sua meravigliosa abilità di sperimentatore, alla teoria del calore un passo immenso, i fisici francesi erano uomini di laboratorio piú che di studio. Ciò che loro interessa è l'esperienza, il fatto concreto che, semplicemente constatato oppure provocato, permetta loro di enunciare, confermare o infirmare una legge. Essi amavano ricercare come la materia reagisce alla tale eccitazione, studiare praticamente il tal fenomeno, misurare con una precisione sovente stupefacente, una dilatazione o una velocità di propagazione... A forza di ammirare l'ingegnosità dei loro strumenti, si finiva per considerare i dettagli dell'esperienza altrettanto importanti dei risultati e ci si estasiava di fronte all'abilità con cui il fisico, per mezzo di un gioco complicato di tubi, di cristalli, di specchi o di rubinetti era arrivato a stabilire una legge, piú che dell'eleganza o della generalità di questa stessa legge⁷.

Questa situazione cominciò a mutare negli anni '80: la ripresa del lavoro di ricerca avvenuto negli anni precedenti portò inevitabilmente i fisici francesi a doversi misurare con quanto di meglio era stato fatto all'estero e ci si accorse che se lo sperimentalismo francese aveva tenuto il passo con la produzione straniera, dal punto di vista delle idee grandi novità erano accadute oltre confine⁸. Una nuova fisica teorica, nuova nei

⁷ Humbert, 1932, pp. 33-4.

⁸ Mentre esistono studi come Yuasa, 1962; Gilpin, 1968; Von Gizycki, 1973; Ben-David, 1975; e soprattutto Forman, 1975, che tentano un raffronto tra la situazione istituzionale della scienza francese e quella di altri paesi, vi è un solo lavoro recente, di scarsissima estensione, Herivel, 1966-7, che tenta una analisi delle differenze teoriche e metodologiche tra scienza francese e scienza estera. Sugli

contenuti e nei metodi rispetto a quella che aveva fatto la gloria della Francia nei primi decenni del secolo, era sorta in Germania e soprattutto in Inghilterra. Di fronte alla « stranezza » della fisica anglosassone non era piú possibile rifugiarsi nel silenzio o nell'altezzoso scetticismo perché quella fisica teorica tanto lontana dalla fisica « classica » della scuola laplaciana o di Fourier si andava rivelando sullo scorcio del secolo fecondissima di idee innovative. Occorreva fare con essa i conti, misurarne la distanza e la compatibilità con l'ideale di scienza teorica che sino ad allora aveva dominato la mentalità francese, anche se questo ideale era rimasto sullo sfondo dell'effettiva attività di ricerca, mito, ricordo nostalgico di un tempo ormai lontano. Questa riflessione sui rapporti tra fisica teorica francese d'inizio secolo e fisica inglese di fine secolo fu all'origine, sia in senso storico che teoretico, della discussione epistemologica sulle teorie fisiche che nell'ultimo decennio del secolo si svolse tra i fisici francesi e che diede origine al cosiddetto « convenzionalismo francese ».

Chi diede il via al dibattito fu colui che era destinato ad essere proclamato il piú grande scienziato del mondo, Henri Poincaré.

2. - L'INIZIO DELLA DISCUSSIONE: POINCARÉ INTERPRETA MAXWELL.

Alla fine degli anni '80 Poincaré, grazie soprattutto ai suoi studi di matematica, era già una delle personalità piú in vista dell'ambiente scientifico francese⁹. Dal 1886 occupava la cattedra di fisica matematica e calcolo delle probabilità nell'Università di Parigi e con i suoi corsi offriva panoramiche estremamente critiche e stimolanti, anche se non organicamente strutturate, delle piú attuali ricerche di fisica teorica. Le sue lezioni sulla teoria elettromagnetica degli anni 1888 e 1890¹⁰ affrontarono il problema della teoria maxwelliana, fino ad allora scarsa-

« stili nazionali » della scienza ottocentesca la lettura piú interessante risulta ancora Merz, 1904-1912. Per un quadro complessivo molto generale cfr. anche Kohn, 1956; Paul, 1972 a; Malley, 1979. Per una puntualizzazione dei problemi storiografici connessi con gli stili scientifici nazionali cfr. Crosland, 1977.

⁹ Su Poincaré esiste una vastissima bibliografia. Oltre a uno studio « classico » come Dantzig, 1954, si segnalano tra gli studi piú recenti Mooij, 1966; McCormach, 1967; Goldberg, 1970; Cuvaj, 1970; Paul, 1970; Petruccioli, 1972; Vuillemin, 1972; Miller, 1973; Voisé, 1973; Lubomirski, 1974; De Lorenzo, 1974; Sanzo, 1975; Torretti, 1978; Schmid, 1978; Nye, 1979.

¹⁰ Poincaré, 1901. Questo testo contiene le lezioni sull'argomento tenute da Poincaré negli anni 1888, 1890 e 1899.

mente considerata in Francia. Il primo cenno alla teoria di Maxwell contenuto in un testo francese risale soltanto al 1875 ed è contenuto in una pubblicazione dell'attivissimo divulgatore Radau della collana della *Bibliothèque des merveilles* di Hachette!¹¹ Nel 1881 venne pubblicata la traduzione di un'opera di un allievo di Maxwell, Gordon, che comparve con il titolo significativo di *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme*¹². Nella sua introduzione Cornu avvertiva il lettore francese che nel libro si potevan trovare anche le « curiose [!] ricerche di Maxwell sulla teoria elettromagnetica della luce »¹³, ma sottolineava anche che Gordon aveva avuto il merito di esporre le idee del maestro « adottando un metodo puramente sperimentale »¹⁴. Lo stesso Cornu si preoccupò in seguito di redigere delle note « destinate a facilitare lo studio di quest'opera al lettore poco famigliare con le forme d'insegnamento inglese »¹⁵ alla traduzione pubblicata nel 1885 del *Treatise* di Maxwell. Queste note sono estremamente significative almeno per due aspetti. In primo luogo confermano come la lettura delle pagine maxwelliane suscitasse in un fisico francese (e Cornu era indubbiamente assai rappresentativo dell'ambiente) notevoli perplessità circa la loro chiarezza e il loro rigore. Numerose note sono vere e proprie stroncature: « Le definizioni sperimentali sono confuse e condotte in modo artificiale; le esperienze fondamentali ... sono complicate e a malapena realizzabili. L'autore sembra del resto aver sentito l'insufficienza del suo modo di esposizione, perché ritorna su certe nozioni anche tre volte, senza tuttavia giungere alla chiarezza desiderabile »; « Tutto questo paragrafo manca di rigore »; « Le considerazioni che conducono qui l'autore a definire matematicamente questa espressione sono evidentemente insufficienti e presentate in modo artificiale »¹⁶. In secondo luogo, le osservazioni di Cornu confermano quanto un ambiente tutto teso alla sperimentazione e sospettoso verso l'astrazione qual'era divenuto quello positivista fosse poco adatto a recepire una fisica teorica altamente matematizzata come quella maxwelliana. Le idee più rivoluzionarie di Maxwell sono, nella nota già sottolineata nel capitolo precedente, giudicate « sviluppi puramente ma-

¹¹ Radau, 1875, p. 321.

¹² Gordon, 1881.

¹³ *Ibid.*, p. VIII.

¹⁴ *Ibid.*, p. VI.

¹⁵ Maxwell, 1885, p. VII.

¹⁶ Le citazioni sono tratte, rispettivamente, da Maxwell, 1885, pp. 35, 55, 91.

tematici », quindi di secondaria importanza. Non per caso quando nel 1882 vi era stato da discutere sulla istituzione alla Sorbonna della cattedra di fisica matematica e calcolo delle probabilità¹⁷ molti fisici avevano manifestato la preoccupazione che questo insegnamento risultasse dedito ad una « scienza straniera ». I « pessimisti » non ebbero in fondo torto, perché proprio il titolare di questa cattedra, Poincaré, doveva porsi il compito di far comprendere e accettare ai francesi la « scienza straniera », la teoria di Maxwell.

La posizione di fondo assunta da Poincaré sul significato metodologico dell'opera di Maxwell è riassunta nelle prefazioni alla *Théorie mathématique de la lumière* del 1889 e a *Electricité et optique* del 1901 (ma che contiene anche le lezioni del 1890), che saranno poi riprese alla lettera nel dodicesimo capitolo de *La science et l'hypothèse* del 1902.

Subito Poincaré avverte il lettore della differenza profonda che intercorre tra lo stile anglosassone e lo stile francese:

La prima volta che un lettore francese apre il libro di Maxwell [il *Treatise*] un sentimento di malessere e posso anche dire di diffidenza si mescola a tutta prima all'ammirazione. Solo dopo uno studio prolungato e a prezzo di molti sforzi questa sensazione scompare. Alcuni valenti scienziati la conservano ancora¹⁸.

Il primo aspetto su cui Poincaré richiama l'attenzione è il contrasto tra la tradizione di pensiero francese che esalta la chiarezza e il rigore cartesiani e la carenza di rigerosità che, a prima vista, presenta l'opera del grande fisico scozzese. Questo è il motivo fondamentale che ha resa così lenta e difficile la diffusione della teoria elettromagnetica della luce:

Perché le idee dello scienziato inglese con tanta pena si adattano al nostro ambiente? Senza dubbio perché l'educazione ricevuta dalla maggioranza dei francesi colti li dispone ad apprezzare la precisione e la logica prima di ogni altra qualità.

Le antiche teorie della fisica matematica ci davano a questo riguardo una soddisfazione completa. Tutti i nostri maestri, da Laplace a Cauchy, hanno proceduto allo stesso modo. Partendo da ipotesi nettamente enunciate ne hanno dedotto tutte le conseguenze con rigore matematico e le hanno poi confrontate con l'esperienza. Sembrano aver voluto dare a ciascuna delle branche della fisica la stessa precisione della meccanica celeste¹⁹.

Qui Poincaré fa riferimento a un ideale di scienza che, dopo Cauchy, raramente era stato concretamente perseguito ma che, in quanto

¹⁷ Cfr. Paul, 1972 a, p. 13.

¹⁸ Poincaré, 1902, pp. 216-7.

¹⁹ *Ibid.*, p. 217.

ideale, era pur sempre rimasto ben fermo in tutti i fisici francesi, anzi in tutti i « francesi colti ». Cartesio, l'Illuminismo, la grande fisica d'inizio secolo potevano ben essere unificati in un'unica tradizione caratterizzata dall'amore per la ragione, per la chiarezza e il rigore logico. La fisica inglese sembrava così contrastare non solo con lo stile ideale, il modello di un particolare gruppo di scienziati, ma con tutto il costume della società colta di Parigi e dintorni.

Quella stessa fisica, prosegue Poincaré, va contro anche « ad altre esigenze che mi paiono meno ragionevoli », la esigenze di un modellismo dogmatico: « Dietro la materia che colgono i nostri sensi e che l'esperienza ci fa conoscere, si vorrebbe vedere un'altra materia, la sola vera, che avrà soltanto delle qualità puramente geometriche e i cui atomi saranno soltanto dei punti materiali sottomessi alle sole leggi della dinamica »²⁰. Che questa fosse veramente una esigenza diffusa tra gli scienziati francesi di fine Ottocento è cosa assai discutibile. Come si è visto nel capitolo precedente i fisici positivisti francesi credevano che la materia al fondo fosse di natura meccanica, ma ciò non significa che nella loro scienza essi andassero, attraverso la costruzione di modelli, alla ricerca di tale realtà. Il meccanicismo dei fisici positivisti era una ideologia che rimaneva inoperante sullo sfondo e la loro ricerca si svolgeva svincolata da suggestioni modellistiche. Né, del resto, il rilievo di Poincaré sembra essere di tipo sociologico; esso è, piuttosto, teoretico: il modellismo era un aspetto relevantissimo della grande fisica teorica d'inizio secolo ed esso viene posto in discussione dall'approccio maxwelliano. Sicuramente dopo la critica di Fourier e di Comte la scienza francese era stata antimodellista; se Poincaré riprende ora il problema dei modelli non è certo per rifare, ancora una volta, una esortazione a diffidare di enti ipotetici, costrutti mentali non direttamente controllabili empiricamente. Il fatto è che per Poincaré nell'opera di Maxwell è contenuto un attacco al modellismo classico nuovo nella forma e nel contenuto, che va ben al di là delle tradizionali ragioni metodologiche che avevano spinto il positivismo a diffidare dei modelli. Non si tratta più, principalmente, di una critica metodologica o filosofica, ma di una critica matematica. È il formalismo matematico stesso impiegato da Maxwell nel suo *Treatise* a porre fuori discussione la possibilità di andare alla ricerca di un modello privilegiato della realtà. Si tratta, ovviamente, della dinamica lagrangiana che, come si è visto nel capitolo pre-

²⁰ *Ibid.*, p. 217.

cedente, già da alcuni decenni si era imposta in Inghilterra quale approccio metodologicamente alternativo al modellismo laplaciano e che solo lì aveva trovato pieno apprezzamento e ampio sviluppo. Per la dinamica lagrangiana lo studio dei sistemi materiali tramite le leggi della dinamica non richiede la conoscenza di meccanismi specifici; spiegare meccanicamente un fenomeno non significa necessariamente fornire un modello. Quello che era divenuto patrimonio della comunità scientifica inglese era però ancora una relativa novità in Francia ove più che Lagrange aveva prevalso la meccanica dei punti materiali alla Poisson, pur privata di ogni connotazione ontologica, e se Maxwell nel suo trattato poteva forse dare per scontato, rivolgendosi ai suoi conterranei, l'idea metodologica fondamentale della dinamica astratta, altrettanto non si poteva fare per i lettori francesi: « L'idea fondamentale si trova un po' mascherata. E lo è tanto bene che nella maggior parte delle opere di vulgarizzazione essa è il solo aspetto che sia stato completamente lasciato da parte »²¹.

Ma Poincaré non si limita a ripetere quanto già gli inglesi sapevano bene e cioè che per chi usi la dinamica astratta lagrangiana la conoscenza di un preciso modello meccanico è *inutile*, egli fa qualcosa di più: dà forma matematica a quella che in Maxwell era solo una intuizione, cioè dimostra che la scelta di un preciso modello è *impossibile*. Trattando matematicamente il problema dei rapporti tra formalismo lagrangiano e leggi empiriche egli dimostra che « se un fenomeno comporta una spiegazione meccanica completa, esso ne comporterà una infinità d'altre che renderanno ugualmente ben conto di tutti i particolari rilevati dall'esperienza »²². Non è possibile allora trovare alcun criterio « oggettivo » per scegliere tra gli infiniti modelli meccanici equivalenti ai fini della spiegazione di un fenomeno. Cade per sempre, per ragioni dimostrative, non pragmatiche o di prudenza metodologica com'era nel positivismo, la pretesa di poter privilegiare un modello sopra gli altri. I modelli, le immagini concrete che gli scienziati possono usare vanno pertanto intesi come ausili per la ricerca, scelti tra gli infiniti possibili solo per ragioni di comodità.

Da qui prenderà origine gran parte del convenzionalismo di Poincaré in fisica (per la geometria e la matematica il percorso intellettuale e le conclusioni furono ben differenti): i modelli, le immagini sono com-

²¹ *Ibid.*, p. 219.

²² Poincaré, 1901, cit. dalla riedizione del 1954, p. VIII.

ponenti convenzionali dell'impresa scientifica, scelte in base a criteri pragmatici o estetici, soggettivi, e rigettate per ragioni analoghe, Noi possiamo conoscere solo i rapporti tra le cose, non le cose stesse. La fisica si vede preclusa la possibilità di andare a vedere la macchina del mondo « dall'interno », è condannata a studiarne le leggi di funzionamento così come appaiono « in superficie ». La fisica, da fisica modellistica è divenuta « fisica dei principi » che coglie i principi guida che presiedono il determinismo degli eventi ma è incapace di indagare le forme specifiche che tale determinismo assume²³.

Gli sviluppi della ricerca a cavallo del nuovo secolo metteranno in discussione anche questa nuova fisica dei principi e costringeranno Poincaré a ritoccare ed arricchire, anche se non a mutare nella sostanza, la propria concezione originaria. Ma queste sono considerazioni che per ora si possono tralasciare. Tornando allo scritto del 1889 vi è ancora da fare la considerazione più importante: la nuova natura del modellismo generata dal formalismo lagrangiano per Poincaré costituisce la chiave di lettura da assumere per l'analisi dell'aspetto più problematico dell'opera di Maxwell dal punto di vista di un francese: la sua apparente mancanza di coerenza. Posto che i modelli hanno soltanto una funzione euristica, sono immagini costruite dal ricercatore per meglio orientarsi e procedere nella costruzione delle relazioni matematiche che organizzano l'esperienza, non vi è più la necessità di usare un solo modello: « Due teorie contraddittorie possono in effetti, posto che non le si mescoli, e che non si cerchi in esse il fondo delle cose, essere tutte e due degli utili strumenti di ricerca e forse la lettura di Maxwell sarebbe meno suggestiva se non ci avesse aperto tante vie nuove divergenti »²⁴.

Per la prima volta nella storia del XIX secolo un eminente scienziato francese ammetteva la possibilità di produrre delle buone teorie scientifiche assumendo in una certa misura ipotesi contraddittorie tra di loro. La risposta della grande tradizione francese venne subito ad opera di un giovane ed ancora oscuro insegnante della università periferica di Lilla e in questa risposta eran già contenute in bozzolo tutte le differenze che distingueranno assai nettamente l'uno dall'altro i due maggiori esponenti del convenzionalismo francese, Poincaré e Pierre Duhem.

²³ Il riferimento è qui, ovviamente, Poincaré, 1902.

²⁴ Poincaré, 1889, p. 219.

3. - DUHEM E LA FISICA INGLESE.

Nelle *Leçons sur l'électricité et le magnétisme* del 1891-92 Pierre Duhem esprimeva un parere ben diverso da quello di Poincaré e rigettava *in toto* una delle più feconde e rivoluzionarie teorie fisiche del XIX secolo:

Autori eminenti ... sottolineando le numerose difficoltà della teoria di Maxwell guardano a queste difficoltà come a dei paradossi che saranno un giorno spiegati e continuano a credere alla verità di questa teoria ... Per noi le difficoltà presentate dalla teoria di Maxwell non sono dei paradossi che devono presto o tardi trovare la loro spiegazione, ma delle contraddizioni che ne mettono a nudo l'inesattezza e la devono far rigettare²⁵.

In quest'opera la polemica con Maxwell rimaneva sul terreno strettamente scientifico e riprendeva, pur radicalizzandole, critiche di dettaglio (e peraltro i dettagli non eran di poco conto) già avanzate da altri scienziati quali Brillouin, Beltrami, e lo stesso Poincaré²⁶. Ma l'anno seguente Duhem affrontava il versante metodologico della questione con un articolo, *L'école anglaise et les théories physiques*²⁷, che allargava la polemica fino a contrapporre due scuole, due modi diversi, per molti aspetti antitetici, di interdire le teorie fisiche, quello proprio dei francesi e quello degli inglesi, modi che si collegavano al diverso « spirito » dei due popoli. L'articolo, ampliato opportunamente, formerà poi il quarto capitolo dell'opera epistemologica fondamentale di Duhem, *La théorie physique* del 1906, ma già tutti i temi che là saranno discussi sono qui ampiamente presenti con grande chiarezza.

Anche per Duhem, come per Poincaré, il problema che subito pone ad un francese la lettura di un'opera inglese è costituito dalla particolare forma di modellismo che questa presenta. Mentre Poincaré si era limitato a contrapporre un uso euristico del modello a un suo uso conoscitivo, Duhem coglie subito un aspetto rilevante del modellismo d'inizio secolo che, al di là del valore attribuito ai modelli, lo distingue dal nuovo modellismo anglosassone: per la fisica classica, sia quella francese, ad esempio di Poisson, sia quella tedesca di Gauss, occorre partire da ipotesi modellistiche che sono costituite da nozioni astratte, che non

²⁵ Duhem, 1891-92, II, p. 457.

²⁶ Beltrami, 1886; Brillouin, 1887; Poincaré, lezioni del 1890 stampate in Poincaré, 1901.

²⁷ Duhem, 1893 d.

soddisfano « il bisogno di immaginare le cose materiali, visibili, tangibili »²⁸. I modelli della scuola laplaciana sono in fondo formati da punti materiali, enti di ragione, quelli degli inglesi contengono tubi, ruote dentate, pulegge, ecc. È questa una osservazione assai importante che spiega come mai uno dei piú feroci critici del meccanicismo come Duhem sempre abbia esaltato le opere di Laplace e di Poisson come ideali di scientificità da contrapporre agli inglesi: per quei grandi fisici teorici spiegare un fenomeno significava inserirlo in un edificio matematico che parte da certi principi teorici (quelli della dinamica) e da certe ipotesi modellistiche, come quelle sui punti materiali o sui fluidi eterei, che nulla concedono all'intuizione concreta, al buon senso, alle facoltà immaginative; per gli inglesi, invece, i modelli hanno la fondamentale funzione di ridurre per via analogica il meno noto al piú noto, l'astratto (quale può essere rappresentato da un'equazione fisica) al concreto, al familiare, all'esperienza cui fa solitamente riferimento il tecnico, l'ingegnere, piú che a quella propria del fisico matematico. La fisica classica francese è l'erede del razionalismo cartesiano, la nuova fisica inglese è una « fisica da commercianti ».

Ma l'aspetto che piú colpisce il lettore francese è quello che già Poincaré aveva sottolineato e che Duhem denuncerà poi con tenacia ossessiva: la mancanza di coerenza, l'uso di modelli differenti entro la stessa teoria. Per Duhem sicuramente questo atteggiamento non è dovuto principalmente a superficialità o a disattenzione, anche se nell'opera di Maxwell egli si sforzerà di ravvisare molte deficienze di questo genere. Tale atteggiamento appoggia su una precisa coscienza che hanno gli inglesi della impossibilità di cogliere con un modello la realtà profonda delle cose: « Thomson non dimentica mai che egli non raggiunge l'essenza delle cose, che egli si limita a costruire un apparecchio capace di simulare certi fenomeni, questo pensiero è senza sosta presente alla sua mente, vi ritorna a ogni istante »²⁹. Al contrario « i geometri francesi che hanno composto le prime teorie della fisica matematica hanno avuto una tendenza costante a considerarle come vere spiegazioni, nel senso metafisico della parola, ad ammettere che esse raggiungono la realtà stessa delle cose e le vere cause dei fenomeni »³⁰. Vedremo che questo giudizio discutibile (ma al quale rimane ancorata

²⁸ *Ibid.*, p. 349.

²⁹ *Ibid.*, p. 359.

³⁰ *Ibid.*, p. 360.

tanta critica moderna) non fu sempre mantenuto così fermo da Duhem, ma per ora esso svolge una funzione fondamentale perché è solo la funzione conoscitiva attribuita alle teorie scientifiche che, per Duhem, può fornire un argomento contro l'uso di modelli incoerenti: « per un geometra della scuola di Laplace e di Cauchy sarebbe assurdo dare di una stessa legge due spiegazioni distinte e sostenere che queste due spiegazioni sono vere nello stesso tempo »³¹. Ma se oggi non si crede più al valore esplicativo delle teorie, se queste sono intese come strumenti di classificazione dei fatti, allora può sorgere il dubbio « scettico » di ammettere, come fa Poincaré, teorie differenti per lo stesso campo fenomenico: « È lecito simbolizzare sia più gruppi distinti di leggi sperimentali, sia anche un unico gruppo di leggi per mezzo di più teorie, ognuna delle quali poggia su ipotesi inconciliabili con quelle che reggono le altre? »³².

Attorno a questo interrogativo, o meglio attorno alla risposta che Duhem diede a questo interrogativo, ruotarono gran parte delle sue riflessioni epistemologiche, scientifiche e storiografiche. Era questa la questione di fondo che emergeva dal confronto con la fisica teorica nuova prodotta dagli inglesi che la fisica francese non poteva più rinviare. Ma si trattava di una questione difficile da risolvere, anzi irrisolvibile sul piano delle ragioni dimostrative:

Se ci si limita a invocare solo le ragioni della pura logica non si può impedire a un fisico di rappresentare per mezzo di varie teorie inconciliabili sia degli insiemi diversi di leggi, sia anche un unico gruppo di leggi; non si può condannare l'incoerenza nello sviluppo della teoria fisica³³.

Se la teoria è una semplice classificazione, si possono certo adottare vari criteri di classificazione, la logica impone solo di non confonderli, ed è allora giustificata la posizione di Poincaré.

Una posizione differente, che rifiuti con energia l'incoerenza, è giustificabile solo ammettendo un valore conoscitivo per le teorie scientifiche, solo ammettendo che le teorie non forniscono classificazioni arbitrarie ma classificazioni che tentano di approssimare la realtà, che tendono verso una « classificazione naturale ».

Ma per quanto imperfette siano le nostre teorie fisiche, esse possono e devono

³¹ Ivi.

³² *Ibid.*, p. 366.

³³ Ivi.

tedere al perfetto; senza dubbio esse non saranno mai altro che una classificazione, constatando delle analogie e delle leggi, ma non raggiungendo mai le relazioni tra le essenze; tuttavia noi possiamo e dobbiamo cercare di stabilirle in modo che ci sia qualche probabilità che le analogie poste in luce non siano degli accostamenti accidentali, ma delle vere relazioni, che manifestino i rapporti che esistono realmente tra le essenze; noi possiamo e dobbiamo, in una parola, cercare di rendere queste classificazioni tanto meno *artificiali* e quanto più *naturali* possibile.

Noi sappiamo con certezza che le relazioni tra le sostanze materiali non sono « né indeterminate né contraddittorie » perciò di fronte ad una fisica che propone due teorie inconciliabili « noi siamo sicuri che la classificazione che una tale fisica ci propone non è conforme all'ordine naturale delle leggi... facendo sparire l'incoerenza avremo qualche probabilità di avvicinarla a quell'ordine, di renderla più naturale e, pertanto, più perfetta »³⁴.

Nella *Théorie physique* Duhem presenterà la nozione di « classificazione naturale » come nozione ricavata dallo studio positivo della scienza e della sua storia: è l'analisi dell'impresa scientifica così come essa si dà storicamente che impone, certo senza dimostrarla, l'idea che la scienza proceda verso una classificazione naturale. Ciò lascia aperta la possibilità di vedere in questa nozione un'aggiunta fatta, appunto, a posteriori all'epistemologia duhemiana, un elemento ideologico che potrebbe essere espunto dall'impalcatura teoretica della sua metodologia. L'articolo del 1893, nel quale per la prima volta sotto l'urgenza della lotta compare la nozione, mostra invece che questo concetto è un cardine attorno cui ruota la battaglia di Duhem contro la fisica inglese e in favore della propria impostazione unitaria. Senza l'idea di classificazione naturale sarebbe impossibile « condannare l'incoerenza nello sviluppo della teoria fisica ».

Duhem ritornerà ancora in altre circostanze a confrontarsi con la fisica inglese: in *L'évolution des théories physiques du dixseptième siècle jusqu'à nos jours* del 1896, in *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell* del 1902, nella *Évolution de la mécanique* del 1903, nella già citata *Théorie physique*, nel *Traité d'énergétique* del 1911 e in altre occasioni minori. La critica sarà approfondita, entrerà impietosamente nei dettagli, come nella celebre opera del 1902, svelando tutte le approssimazioni, gli errori, le sviste in cui era incorso Maxwell, o mostrando il vicolo cieco in cui si era venuto a trovare Thomson, ma sempre il perno

³⁴ *Ibid.*, pp. 369-370.

attorno cui essa ruoterà sarà l'accusa di non costruire teorie unitarie ammettendo la giustapposizione di nozioni contraddittorie, accusa che, a sua volta, poggia su un franco riconoscimento del valore conoscitivo delle teorie, della validità della nozione di « classificazione naturale ».

Ecco dunque che l'articolo del 1893 ci pone di fronte ad un importante problema interpretativo della figura di Duhem: non è un paradosso che questo convenzionalista tanto apprezzato al giorno d'oggi si presenti sulla scena della discussione circa i caratteri fondamentali della fisica teorica di fine secolo come il difensore strenuo e deciso del valore conoscitivo delle teorie scientifiche? In fondo Duhem in questo articolo dà per scontato quella che è ritenuta una delle maggiori conquiste della critica convenzionalista, cioè il valore classificatorio delle teorie, e si preoccupa invece di porre un limite ben fermo alle interpretazioni utilitaristiche della scienza. Due interrogativi si pongono. Nel 1893 Duhem è già approdato ad un convenzionalismo teorico, ben prima, contrariamente a quanto si crede, della crisi provocata dalla scoperta della radioattività o, a maggior ragione, del presentarsi dell'ipotesi quantistica o della relatività, ed anche prima dei maggiori (e maggiormente valutati dagli storici) articoli di Poincaré che verranno raccolti in *La science et l'hypothèse*. Qual è dunque l'origine di questa concezione duhemiana? quale la problematica scientifica e filosofica da cui sorge? Inoltre, che tipo di convenzionalismo è quello duhemiano che assume a principio guida per orizzontarsi nel dibattito teorico l'idea che la scienza sia fondamentalmente attività conoscitiva e come si può giustificare la nozione cardine di classificazione naturale?

Il confronto con la scuola anglosassone fu la principale causa storica che scatenò il dibattito epistemologico in Francia e fu anche rilevantissima componente della riflessione duhemiana; ma per Duhem lo fu, per così dire, « in negativo », nel senso che la fisica inglese offriva al fisico parigino un *a v v e r s a r i o* agguerritissimo da combattere e tutta la riflessione di Duhem fu sempre svolta avendo come scopo quello di individuare una concezione e un esempio di teoria scientifica alternativa a quella propria della nuova fisica proveniente d'Oltremania. Senza Thomson e senza Maxwell probabilmente non ci sarebbe stata neppure l'epistemologia duhemiana. Ma dove trovare un'alternativa? Quali argomenti teorici, non semplicemente metodologici, contrapporre a idee che, per quanto « strane », sembravano di giorno in giorno trovare sempre più clamorose conferme e mostrare una sempre più sorprendente

fecondità? Se la fisica inglese fu l'obiettivo critico dell'epistemologia duhemiana, quale fu il modello cui si ispirò in positivo?

Questo modello Duhem lo aveva trovato già sui banchi del liceo, e si trattava di una scienza anch'essa nuova ed innovativa: la meccanica chimica.

4. - LA NUOVA PROSPETTIVA OFFERTA DALLA MECCANICA CHIMICA.

Pierre Duhem era nato³⁵ a Parigi il 10 giugno 1861 da una famiglia della media borghesia molto cattolica e monarchica. Duhem vide gli or-

³⁵ La bibliografia esistente su Duhem non è molto vasta, malgrado il suo nome abbia una grande risonanza. Alla sua morte furono scritti alcuni necrologi, come Bergereau, 1916; Fliche, 1916; Bryan, 1916; Favaro, 1916; Jounguet, 1917, e soprattutto il volume *Mémoires de la Société ...*, 1917. Vi fu poi un lungo periodo di assenza di scritti complessivi, sia pure di esigua mole, sulla sua figura, interrotto solo da Manville, 1926. Negli anni '30 vi fu un lieve risveglio segnato da Humbert, 1932 (che rimane il più completo tentativo di sintesi, pur nella sua brevità e nel carattere spesso compilativo), H. P. Duhem, 1936 (la più importante fonte biografica, dovuta alla figlia di Duhem), un numero speciale di « Archeion », 1937, dedicato a Duhem. Ancora, in fondo, al periodo compreso tra le due guerre appartiene Lowinger, 1941, il saggio di maggior mole esistente sulla posizione culturale di Duhem, che non è altro che una parafrasi, senza molte pretese di originalità, della *Théorie physique*, la quale non tenta nemmeno una collocazione storica del pensiero duhemiano né, tantomeno, si cimenta in un'analisi della sua genesi e del suo sviluppo. Nel dopoguerra, per oltre un ventennio, non sono comparsi lavori complessivi su Duhem, tranne i due brevissimi Lenzen, 1954 e Feldstein, 1957. Solo nella seconda metà degli anni '60 si è avuto un moderato risveglio di studi indotto dalla discussione sulla « tesi Duhem - Quine » con Miller, 1966 e 1967, un numero speciale di « Etudes philosophiques », 1967; Mellor, 1968; O'Malley, 1965 e 1968; Agassi, 1970; Joy, 1971; Cardwell, 1972; Costa de Beauregard, 1977; Redondi, 1978; Blay, 1981. L'aspetto particolare del pensiero di Duhem di gran lunga più studiato, che rappresenta poi il motivo più grande della sua fama, è la cosiddetta « tesi Duhem - Quine ». Il dibattito su questa tesi, uno dei più importanti e ricchi di implicazioni dell'odierna filosofia della scienza, si è svolto a suon di schemi di logica formale e, al di là del suo indubbio interesse teorico intrinseco, non ha fornito molte elucidazioni sulla figura di Duhem. Gli interventi principali in questa discussione sono stati: Grünbaum, 1960 (ma questo autore è più volte ritornato su questo tema); Giannoni, 1967; Sklar, 1967; Quinn, 1969, 1974 e 1978; Wedeking, 1969; Leplin, 1972; Dusek, 1973; Tuana, 1978; Hollinger, 1978; Krips, 1982. L'opera storiografica di Duhem è pochissimo studiata, se si considera l'importanza che essa ha avuto (ciononostante tutti parlano con sicumera di « continuismo », di « semplicismo », di « ideologismo » della storia duhemiana): Lemonnier, 1917; Mieli, 1917; Bosmans, 1921; Ginzburg, 1936; Sarton - Tannery, 1937; Thorndike, 1942; Fichant, 1971; Paul, 1972 c; Martin, 1976; Agassi, 1978. Anche il rapporto posto da Duhem tra scienza e religione non si può dire sia stato oggetto di molti studi approfonditi, nonostante sia dato per

rori della Comune e ne rimase vivamente impressionato, traendone una forte avversione per tutto ciò che sapeva di repubblica e di democrazia. Dall'età di 11 anni entrò in quello che era forse il più prestigioso collegio religioso francese, il *Collège Stanislas*³⁶. Qui avvenne un incontro decisivo per la sua formazione con il suo insegnante di matematica Jules Moutier.

Secondo le parole di Duhem³⁷, Moutier amava cercare sovente spiegazioni di tipo modellistico e in questo senso influenzò il suo giovane allievo. Per la verità l'analisi delle opere pubblicate da Moutier rivela piuttosto uno scienziato tipicamente positivista, teso a basarsi su « fatti fondamentali indipendenti da ogni ipotesi »³⁸. In ogni caso Duhem doveva presto cambiare le proprie idee circa il metodo scientifico. Moutier esercitò comunque un'influenza determinante su Duhem in quanto attirasse l'attenzione del suo promettentissimo allievo verso una disciplina che egli stesso stava contribuendo a fondare, la meccanica chimica.

Già tutto il tipo di insegnamento ricevuto da Duhem all'*École Normale* era adatto a far rapidamente cadere il suo primitivo modellismo: l'empirismo e l'agnosticismo dei fisici positivisti erano quanto di meno adatto si potesse trovare per coltivare le tendenze modellistiche di un giovane studioso. In particolare Bertin, con il suo « scetticismo beffardo », aveva buon gioco a « calunniare i tentativi di continuo rinasciti e fallimentari dei meccanicisti »³⁹. I matematici, poi, si preoccupavano di coltivare l'amore per il rigore piuttosto che far concessioni all'immaginazione concreta o allo strumentalismo, privilegiando l'algebra sulla geometria, a differenza di quanto si faceva e si era fatto in Inghilterra. Particolare impressione su Duhem fece l'insegnamento di Jules Tannery per

assodato che le convinzioni religiose di Duhem abbiano influenzato in modo determinante quelle epistemologiche e storiche. Cfr. Paul, 1972 b e 1979; Martin, 1982. Vanno infine segnalati alcuni lavori, per la maggior parte di estensione assai ridotta, su particolari aspetti dell'opera di Duhem: Roy, 1923; Boutaric, 1926 (questo è un testo ampio su Duhem ma tratta solo la sua opera scientifica senza però un taglio storico); Dugas, 1937; Miller, 1963; Causey, 1971; Brouzeng, 1978; Negroita, 1981.

³⁶ Sull'insegnamento delle scienze e la considerazione in cui esse erano tenute nei collegi religiosi francesi dell'Ottocento cfr. Paul, 1971 b. Per il periodo precedente cfr. De Dainville, 1978.

³⁷ Duhem, 1905 b, p. 309.

³⁸ Moutier, 1883-84, I, p. 356. Cfr. anche Moutier, 1872 e 1881. Su Moutier non esiste, a mia conoscenza, alcun lavoro specifico.

³⁹ Duhem, 1905 b, p. 310.

il suo « senso critico »⁴⁰ non meglio precisato. C'è da supporre che questo senso critico risaltasse dalla particolare concezione della matematica di Jules Tannery, la quale era incentrata sulla netta distinzione tra fondazione sperimentale o intuitiva delle teorie matematiche e loro fondazione logica, distinzione che lo condusse a una serie di riflessioni sui rapporti tra geometria euclidea e geometrie non euclidee, le quali non devono esser rimaste senza influsso sull'amico Poincaré, e lo spinse anche a sottolineare nel suo insegnamento l'importanza di prendere in considerazione il problema della fondazione logica delle teorie scientifiche⁴¹.

Mi hanno preoccupato — afferma Tannery — soprattutto i principi della matematica e il modo di esporli; mi sono particolarmente impegnato nel meditare sui fondamenti dell'analisi; ho tentato di approfondirne i principi; ho diretto i miei sforzi verso l'insegnamento, la coordinazione e la divulgazione delle verità acquisite, ben più di aver cercato di scoprirne di nuove⁴².

Ma se queste influenze contribuirono a fare del giovane Duhem un antimodellista e uno studioso attento al rigore logico delle teorie, di gran lunga più importante fu lo studio della chimica che all'*École Normale* era compiuto secondo i dettami della scuola di Henri Sainte-Claire Deville, di cui Moutier faceva parte, e per questa scuola la chimica stava conoscendo negli anni '70 una vera rivoluzione, quella apportata dalla meccanica chimica.

Dopo l'eclisse del programma di Laplace e Berthollet i chimici avevano abbandonato lo studio dei meccanismi delle reazioni chimiche concentrandosi su quello dei metodi di preparazione e della composizione dei corpi. L'accento si era spostato con decisione dalle reazioni ai prodotti delle reazioni. Il sogno, a lungo accarezzato dalle varianti molteplici del meccanicismo, di riuscire ad individuare dei principi regolativi per le reazioni, delle leggi per le forze di affinità chimiche, sembrava un sogno svanito per sempre⁴³.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 311.

⁴¹ Cfr. Nye, 1979, pp. 111-2.

⁴² Tannery J., 1912, p. iv. L'atteggiamento metodico di Tannery è esemplificato nella sua maggiore opera scientifica: Tannery, 1893-1902.

⁴³ L'opera di riferimento più importante per la storia generale della chimica ottocentesca è Partington, 1961-64. Cfr. anche Findlay, 1965; Solov'ev, 1976; Leicester, 1978. Per la storia della chimica analitica cfr. Laitinen-Ewing, 1977. Per la situazione della chimica francese negli anni successivi al definitivo tramonto dell'ideale di Berthollet cfr. Bachelard, 1932, p. 61 e ss.; Daumas, 1948; Brooke, 1975.

La situazione mutò nella seconda metà del secolo, grazie ad un nuovo approccio permesso da una nuova teoria nata dalla fisica, la termodinamica⁴⁴.

Nei suoi studi sui fondamenti della termodinamica Clausius ammise che il calore assorbito da un sistema materiale si decompone in tre parti: il *calore libero*, che produce un aumento di temperatura nel sistema e che è presente poi nel sistema stesso effettivamente sotto forma di calore; una parte consumata dal lavoro che subiscono le forze molecolari interne che si esercitano tra le differenti parti del sistema (*lavoro interno*), una parte che è consumata dal lavoro che subiscono le forze esterne applicate al sistema (*lavoro esterno*). Egli aveva applicato questa idea allo studio dei vapori e dei gas perfetti.

Nel 1853 Thomsen l'applicò allo studio del calore emesso nelle reazioni chimiche⁴⁵. Considerando il caso in cui si possa trascurare il lavoro esterno e la reazione sia isoterma, nella quale cioè il calore libero si riduca a zero, il calore totale scambiato con l'esterno si identifica con il lavoro interno e dunque « il calore totale sviluppato da una azione chimica è perciò una misura del lavoro sviluppato nell'insieme del fenomeno »⁴⁶. In questo che può essere considerato l'atto di nascita della termochimica, cioè dell'applicazione della termodinamica alla chimica, si veniva a stabilire una relazione quantitativa assai semplice tra l'effetto prodotto dalle forze molecolari e la quantità di calore sviluppato durante la produzione di questo effetto. Si apriva la possibilità (già intravista da Laplace) di dare attraverso il calore una misura dell'azione di quelle forze molecolari che in vari periodi i chimici e i fisici avevano cercato di indagare ma che sempre erano sfuggite come vani fantasmi.

Si apriva anche la possibilità, sempre partendo dai principi della termodinamica, di ricercare dei principi regolativi per gli equilibri chimici e per i loro spostamenti, cioè di fondare una meccanica chimica. Su questa via si pose con decisione uno degli scienziati francesi più rappresentativi della cultura positivista, destinato a divenire personaggio in-

⁴⁴ La bibliografia esistente sulla storia della termodinamica ottocentesca è vastissima. Mi limito qui a segnalare le tre opere generali a mio avviso più interessanti che sono state pubblicate in questi ultimissimi anni: Brush, 1976; Elkana, 1977; Truesdell, 1980. Altri lavori su argomenti specifici sono segnalati più avanti.

⁴⁵ Sull'applicazione della termodinamica alla chimica si vedano innanzi tutto alcuni lavori classici: Le Chatelier, 1886; Duhem, 1893 a; Helm, 1894; Ostwald, 1909; Lemoine, 1913. Tra gli studi più recenti: Guéron-Magat, 1971; Hiebert, 1975; Raman, 1975; Dolby, 1976 b e 1976 c; Snelders, 1977; King, 1981.

⁴⁶ Thomsen, 1853, p. 350.

fluentissimo nell'organizzazione educativa e a incarnare nella maniera piú compiuta l'ideale culturale del laicismo repubblicano: Marcelin Berthelot⁴⁷. A partire dal 1865 questi intraprese una serie di ricerche di termochimica che lo condussero nel 1873 ad enunciare quello che egli definiva il « terzo principio della termodinamica »: « Ogni cambiamento chimico, compiuto senza l'intervento di energia esterna, tende verso la produzione del corpo o del sistema di corpi che produce il massimo di calore »⁴⁸.

Si trattava di un principio generale, detto principio del lavoro massimo, che aveva una grande analogia con i principi variazionali della meccanica e si poneva come fondamento su cui erigere una nuova scienza, la meccanica chimica. Il principio si rivelò subito soggetto a varie eccezioni. Per esso le sole reazioni spontanee sono quelle esotermiche, che producono calore. Esistono invece parecchie reazioni che avvengono spontaneamente assorbendo calore, ad esempio quelle che accompagnano i fenomeni di dissociazione. Per sfuggire alla smentita dell'esperienza Berthelot aveva a disposizione una comoda strada: il principio del lavoro massimo è valido in assenza di « energia esterna » e perciò allorché esso sembra in difficoltà è sufficiente, per salvarlo, andare alla ricerca di qualche fonte di energia esterna che spieghi l'assorbimento di calore. Ad esempio nel caso delle dissociazioni Berthelot parla di un contrasto tra forze chimiche (di affinità) e forze fisiche (di coesione tra le molecole): l'assorbimento di calore avviene quando le forze fisiche prevalgono su quelle chimiche, quindi la trasformazione avviene per l'intervento di energia non di tipo chimico, cioè « energia esterna », e in questo caso il principio del lavoro massimo non è piú applicabile. È evidente che in questo modo si introduce una separazione drastica tra chimica e fisica, tra azioni chimiche e azioni fisiche. Il terzo principio della termodinamica vale solo per la chimica ed è facile, quando esso appare in difficoltà, andare alla ricerca di qualche azione fisica perturbante. La battaglia condotta da Berthelot per salvare il proprio principio spostando opportunamente l'arbitrario confine tra fisica e chimica costituì un lampante esempio agli occhi di Duhem di come le teorie non siano per nulla falsificabili facilmente dall'esperienza, di come la tenacia e l'intelligenza di un gruppo di scienziati possa mantenere in vita per lungo tempo una teoria che a prima vista sembra contraddetta dai fatti:

⁴⁷ Su Berthelot cfr. Perrin, 1927; Boutaric, 1927; Ranc, 1948; Virtanen, 1965; Nye, 1981.

⁴⁸ Berthelot, 1873, p. 160.

È raro che le contraddizioni dell'esperienza siano sufficienti a sbarazzare la scienza da una teoria errata; i partigiani di questa teoria trovano sempre qualche sotterfugio per aggirare ..., interpretandoli opportunamente, i fatti che li convincono dell'errore ... Non si può eliminare dalla scienza una idea falsa quando ci si accontenta di dimostrarne la falsità; occorre anche creare l'idea giusta che la deve rimpiazzare⁴⁹.

È questo un ottimo esempio di « falsificazionismo metodologico sofisticato » risalente al 1892!

L'avversario più accanito di Berthelot fu Henri Sainte-Claire Deville⁵⁰ che formò all'*École Normale* una scuola di ricercatori che ebbe una influenza determinante sul pensiero duhemiano. Con i suoi studi sulla dissociazione e sulle reazioni chimiche alle alte temperature Sainte-Claire Deville a partire dal 1864⁵¹ pose in evidenza una serie di eccezioni al principio del lavoro massimo (allora solo intravisto da Berthelot), cioè una serie di reazioni di decomposizione che a temperatura elevata si producono direttamente e in senso contrario alle previsioni di Berthelot. Dal punto di vista teorico la critica di Sainte-Claire Deville e del suo compagno di lavoro Henri Debray⁵² (anch'egli ammiratissimo da Duhem) attaccava la rigida distinzione tra chimica e fisica che costituiva il pilastro della teoria di Berthelot e sottolineava la stretta analogia esistente tra il meccanismo delle reazioni chimiche e il meccanismo dei cambiamenti di stato fisici. In questo modo il confine tra chimica e fisica tendeva a svanire e si configurava una nuova teoria unitaria di tipo chimico-fisico.

Dal punto di vista metodologico Sainte-Claire Deville fu assertore di un rigido sperimentalismo fenomenico, estremamente diffidente verso le ipotesi su strutture nascoste. « Nei nostri studi — affermava nel 1864 — dobbiamo lasciare da parte tutte quelle forze incognite alle quali si è ricorso solo perché non se ne sono misurati gli effetti. Al contrario, tutta la nostra attenzione deve concentrarsi sull'osservazione e la determinazione numerica di questi effetti, i soli da noi conoscibili. Così il calore e l'affinità sono costantemente presenti nelle nostre teorie chimiche. L'affinità ci sfugge completamente; noi le attribuiamo tuttavia la combinazione che sarebbe l'effetto di questa causa sconosciuta. Studiamo

⁴⁹ Duhem, 1893 a, pp. 176-7.

⁵⁰ Su Sainte-Claire Deville cfr. Gay, 1889. Questo personaggio è completamente trascurato dalla storiografia.

⁵¹ Sainte-Claire Deville, 1866.

⁵² Sainte-Claire Deville - Debray, 1867-8.

dunque semplicemente le circostanze fisiche che accompagnano la combinazione e vedremo quanti curiosi accostamenti, quanti fenomeni misurabili si scoprono in continuazione! Il calore, si dice, distrugge l'affinità; studiamo con costanza la decomposizione dei corpi sotto l'influenza del calore espresso in quantità equivalente di lavoro, in temperatura o energia cinetica: vedremo allora subito quanto questo studio è fruttuoso e indipendente da ogni ipotesi, da ogni forza sconosciuta »⁵³.

In Sainte-Claire Deville Duhem troverà, piuttosto che in Mach, enunciata in forma chiara l'idea che una teoria è uno strumento di classificazione, che il lavoro del fisico e del chimico non differisce da quello dello studioso di scienze naturali e questo parallelo tra fisica e scienze naturali sarà l' analogia su cui egli poggerà la sua nozione di classificazione naturale ».

Non bisogna dimenticarlo — scriveva Sainte-Claire Deville nel 1867 — la chimica è una scienza naturale. Noi studiamo, osserviamo, sperimentiamo la materia tale quale è fatta. Le pietre, i minerali, gli elementi degli esseri organizzati, tutto ciò che si trova attorno a noi sulla terra ci è offerto come l'oggetto illimitato di un lavoro senza fine. Qualsiasi cosa facciamo, quali siano le tendenze contemporanee alla astrazione, dobbiamo impiegare per arrivare alla scoperta della verità i metodi usuali delle scienze naturali. Stabiliamo analogie, constatiamo rassomiglianze e differenze di ogni ordine, facciamo poco a poco il lavoro di una classificazione che sarà lunga, sarà forse sempre incompleta; sperimentiamo costantemente per provare la legittimità dei principi che ci guidano o per dimostrarne l'imperfezione o l'inesattezza; ma mai fissiamoci un istante sulle ipotesi, e soprattutto mai diamo un corpo e una realtà alle astrazioni che ci impone la debolezza della nostra natura. Mi spiego, tutte le ipotesi ammesse oggi spariranno necessariamente dalla scienza⁵⁴.

La diffidenza verso le ipotesi, un ideale fenomenista di scienza e una interpretazione strumentalista delle teorie erano tutti elementi ampiamente diffusi tra i chimici francesi dell'età positivista e si manifestarono con particolare evidenza nella polemica sulla teoria atomica⁵⁵.

⁵³ Sainte-Claire Deville, 1866, p. 5. Si confrontino anche questi passi: « Non bisogna nascondersi che lo studio delle cause prime dei fenomeni che osserviamo e che misuriamo presenta un serio pericolo. In assenza di ogni definizione precisa e indipendente dai fatti particolari, la considerazione delle cause prime ci conduce, assai più sovente di quanto non si pensi, a commettere delle vere e proprie petizioni di principio ... » (*Ibid.*); « Ciò che mi ha sempre guidato è il desiderio di distruggere l'influenza fatale che esercitano sulla scienza l'intervento continuo delle cause ipotetiche e l'impiego dei termini mal definiti ... » (*Ibid.*, p. 123).

⁵⁴ Sainte-Claire Deville, 1869, p. 19.

⁵⁵ La polemica sul senso da dare alla teoria atomica, lo scontro tra atomismo ed energetica alla fine dell'Ottocento e all'inizio del Novecento è un problema

Sainte-Claire Deville fu uno dei piú influenti anti-atomisti, ma anche il suo « nemico » Berthelot non fu da meno nella sua polemica contro la teoria atomica intesa in senso realista: « I fluidi eteri e gli atomi sono dei simboli, come i quattro elementi e il mercurio dei filosofi »⁵⁶. La teoria atomica veniva interpretata, al pari di tutte le teorie, come un utile strumento linguistico, quindi giudicabile solo in base a criteri utilitaristici⁵⁷. Ancora nel 1884 vi fu una furiosa polemica tra « atomisti » e « equivalentisti » in seno alla École Polytechnique che giunse alla soluzione di compromesso di usare entrambi i linguaggi. La relazione finale della commissione preposta a dirimere la questione, opera di Cornu e Lemoine, così si esprime: « Nella parte del corso relativa alla chimica minerale il professore impiegherà, come si è fatto fino ad ora, la notazione in equivalenti. Nella parte del corso relativa alla chimica organica il professore potrà, se lo giudica conveniente, impiegare la notazione atomica »⁵⁸. L'uso della notazione atomica viene giudicata pericolosa perché « i nostri allievi affrontano lo studio delle scienze sperimentali con una educazione matematica assai sviluppata che dà loro una grande tendenza a lasciarsi sedurre dalle ipotesi del tutto speculative che richiamano loro il rigore e l'eleganza geometrici; occorre vigilare a che per loro i fatti acquisiti e le proprietà dei corpi non spariscano dietro dei giochi di formule ». Si può insegnare la teoria atomica « ma a condizione che questa teoria sia ben separata dai fatti che cerca di spiegare, perché questi fatti resteranno sempre acquisiti dalla scienza, in mezzo alle vicissitudini che l'avvenire riserverà alle spiegazioni teoriche »⁵⁹. Il fatto poi che si impiegassero due notazioni differenti non veniva giudicato un peccato di « disomogeneità », anzi aveva il vantaggio di mostrare apertamente la natura strumentale delle nozioni teoriche: « Questo cambiamento farà vedere agli allievi che le nostre formule non esprimono la costituzione dei corpi, e non sono altro che una questione di linguaggio. È precisamente per questo motivo che si può impiegare la notazione che

storiografico cruciale e si tornerà su di esso a piú riprese. Nella bibliografia esistente sul tema segnaliamo: Buchdal, 1959; Van Melsen, 1960; Metz, 1963; Daub, 1967; Brock, 1967; Schonland, 1968; Mc Gucken, 1969; Wilson, 1970; Scott, 1970; Mellor, 1971; Levere, 1971; Lehmann, 1972; Nye, 1972 e 1976; Elkana, 1974; Hiebert, 1975; Srong, 1976; Clark, 1976; Rocke, 1981.

⁵⁶ Berthelot, 1885, p. 3. Cfr. Nye, 1981.

⁵⁷ Cfr. Metz, 1963; Nye, 1977.

⁵⁸ Cornu - Lemoine, 1884, p. 1.

⁵⁹ *Ibid.*, pp. 2-3.

si trova piú comoda »⁶⁰. Anche i sostenitori della teoria atomica la presentavano generalmente come una ipotesi utile per l'edificazione teorica della chimica, alla quale non andava però attribuita alcuna realtà. Chevreul, nella sua *Introduction a l'histoire des connaissances chimiques* (1866) diceva che l'ipotesi atomica è necessaria « per il concatenamento delle proposizioni », ma non è dannosa solo « se la si prende per quello che è e la si distingue così dalle proposizioni che si credono vere perché si ha la convinzione di dimostrarle tali con l'aiuto di ragionamenti dedotti dalla osservazione dei fatti controllati con l'esperienza »⁶¹. Ancora alla fine del secolo nel settimo volume del suo importantissimo *Traité de chimie générale*⁶² Schützenberger così si esprimeva trattando della teoria atomica:

Non bisogna nascondersi che la concordanza tra il calcolo matematico e l'esperienza è stata ottenuta solo modellando su quest'ultima delle nuove ipotesi ... in altri termini, prestando ipoteticamente a delle cose ipotetiche delle qualità di cui si aveva bisogno per giungere ad una soluzione soddisfacente del problema⁶³.

Lo stesso capofila dei sostenitori della teoria atomica, Adolphe Wurtz, pur convinto della reale esistenza degli atomi, sottolineò sempre il valore in primo luogo classificatorio della teoria:

Il principio di classificazione generale che prevale oggi è tratto dalla atomicità. Si riuniscono in grandi classi corpi di uguale atomicità. Le proprietà di tutti questi corpi differiscono secondo la natura, il numero e la disposizione degli elementi che contengono. Di qui fa facilità di stabilire delle sotto-divisioni in queste grandi classi, di raggruppare i corpi di una stessa classe per serie, per famiglie⁶⁴.

Anch'egli, come Sainte-Claire Deville, impiegò molto l'analogia tra la classificazione che compie il chimico e quella del naturalista, parlando di « famiglie naturali » contrapposte a « raggruppamenti artificiali »⁶⁵. L'approccio metodologico di Sainte-Claire Deville non era dunque particolarmente originale, ma fu la sua figura ad avere una influenza diretta particolarmente importante su Duhem.

Che il pensiero di Sainte-Claire Deville abbia avuto un influsso me-

⁶⁰ *Ibid.*, p. 8.

⁶¹ Chevreul, 1866 b, p. 31.

⁶² Schützenberger, 1880-1894.

⁶³ Cit. in Mabileau, 1895, p. 532.

⁶⁴ Wurtz, 1868, p. LXVII.

⁶⁵ Wurtz, 1864, p. 168. Cfr. anche su questo aspetto Wurtz, 1864-66.

todologico determinante su Duhem è fuori di dubbio: in tutte le opere giovanili di Duhem Sainte-Claire Deville è giudicato grandissimo scienziato, genio innovatore, e le sue parole ampiamente citate sono giudicate degne di essere lette e meditate da « tutti coloro che hanno a cuore di ben cogliere il metodo e la portata delle scienze fisiche »⁶⁶. Ma non furono le riflessioni metodologiche di Sainte-Claire Deville in se stesse, del resto non certo rivoluzionarie rispetto alla tradizione positivista, a convincere Duhem, fu piuttosto la teoria in linea con quell'impostazione di metodo che la scuola di Sainte-Claire Deville contribuì a costruire che dimostrò ai suoi occhi la bontà, la fruttuosità di quello stesso metodo.

Due appartenenti al gruppo di Sainte-Claire Deville si preoccuparono di sviluppare una teoria degli equilibri chimici che partisse dai principi della termodinamica e che si sviluppasse in analogia con la meccanica: uno era Massieu⁶⁷ e l'altro appunto l'insegnante di matematica del *Collège Stanislas*, Jules Moutier. L'opera decisiva per la formulazione della meccanica chimica fu comunque opera di uno scienziato statunitense sconosciuto in Europa, Josiah Willard Gibbs. A partire dal 1873 questi propose una serie di classici lavori sulla meccanica chimica che per Duhem rappresentarono la più ricca concretizzazione delle istanze metodologiche di Sainte-Claire Deville.

Partendo dalle equazioni fondamentali della termodinamica formulate da Clausius, Gibbs⁶⁸ seppe costruire una teoria generale degli equilibri chimici del tutto indipendente da considerazioni sulla struttura ipotetica della materia, anche se personalmente egli era, come dimostrano i suoi successivi lavori di meccanica statistica, fortemente interessato anche ad un approccio modellistico. Il suo terzo lavoro della grande trilogia *On the equilibrium of heterogeneous substances*⁶⁹ è interamente in forma analitica: partendo dalle due leggi della termodinamica nella forma data loro da Clausius, Gibbs dà una rigorosa derivazione delle condizioni matematiche generali dell'equilibrio e della stabilità di una miscela eterogenea; quindi procede metodicamente alla discussione delle necessarie modificazioni da introdurre nelle equazioni fondamentali e nelle particolari forme delle condizioni d'equilibrio quando si prendono

⁶⁶ Duhem, 1892 b, p. 453.

⁶⁷ Massieu, 1869.

⁶⁸ Su Gibbs cfr. Donnan-Haas, 1936; Wheeler, 1951; Klein, 1969; Daub, 1970 e 1976; Seeger, 1974; Hiromasa, 1975.

⁶⁹ In Gibbs, 1928.

in considerazione la presenza di materia di differenti tipi e in differenti stati, la presenza di forze gravitazionali, gli effetti dello stato di sforzo nei solidi che possono essere presenti, gli effetti delle tensioni superficiali sulle superfici delimitanti le varie porzioni della miscela e infine gli effetti delle forze elettriche. Il primo caso è particolarmente importante per i successivi sviluppi della meccanica chimica. Considerando questo caso Gibbs introdusse la fondamentale nozione di potenziale chimico.

Per un sistema uniforme che possa scambiare con l'esterno solo calore ed effetti meccanici la variazione della sua energia interna è espressa da due termini, appunto l'energia scambiata in forma di calore e l'energia meccanica. Clausius aveva espresso questo principio nella forma seguente:

Variazione energia interna = Variazione energia termica meno variazione energia meccanica = Temperatura per variazione di entropia meno pressione per variazione di volume.

In formule:

$$\Delta U = T \cdot \Delta S - P \cdot \Delta V$$

Se il sistema può, seguendo Gibbs, anche scambiare con l'esterno materia, allora la sua variazione di energia dovrà dipendere anche dalle masse dei componenti che passano attraverso le pareti che del sistema costituiscono i confini. L'equazione di Clausius va allora modificata aggiungendo dei termini che rendano conto delle variazioni di energia dovute ai trasferimenti di massa, tanti quanti sono i componenti del sistema interessati da questi scambi. Gibbs espresse questi termini in analogia con i termini presenti nell'equazione di Clausius, cioè composti da due fattori, uno intensivo e l'altro estensivo. Così come il termine dell'energia termica è rappresentato dal prodotto della temperatura e della variazione di entropia e quello dell'energia meccanica è espresso dal prodotto della pressione e della variazione di volume, analogamente i termini che tengon conto della variazione di energia dovuta agli scambi materiali sono espressi come prodotto di un termine intensivo, che Gibbs chiama potenziale e che poi sarà detto potenziale chimico, e della variazione nella massa.

L'equazione fondamentale di Clausius diventa allora:

Variazione energia interna = Temperatura per variazione di entropia meno pressione per variazione di volume piú potenziale chimico del componente 1 per variazione della massa del componente 1 piú

... piú potenziale chimico del componente n per variazione della massa del componente n ;
se n sono i componenti che partecipano agli scambi materiali.

Questa equazione è il punto di partenza di una teoria degli equilibri chimici. Da essa possono essere dedotte tutte le proprietà termiche, meccaniche e chimiche di un sistema complesso con le stesse procedure con cui le proprietà termiche e meccaniche di un corpo uniforme di composizione invariabile potevano essere derivate dall'equazione di Clausius. Con Gibbs la termodinamica arrivò ad estendere il proprio campo di applicabilità fino a comprendere, dopo la meccanica ed il calore, anche i fenomeni chimici. Entro questa nuova teoria il concetto piú importante è quello di potenziale chimico: esso riveste per l'equilibrio chimico lo stesso ruolo che temperatura e pressione giocano nelle condizioni di equilibrio termico e meccanico. Così come in un sistema eterogeneo l'equilibrio termico è determinato dall'uguaglianza di temperatura e l'equilibrio meccanico dall'uguaglianza di pressione, analogamente l'equilibrio chimico è determinato dall'uguaglianza dei valori dei potenziali chimici dei vari componenti.

La fecondità dell'approccio di Gibbs si rivelò straordinaria e si moltiplicarono gli esempi di felice applicazione delle sue idee o comunque di idee che nella sua opera trovavano fondamento. La fortuna di Gibbs in Europa crebbe soprattutto dopo il 1882, anno in cui Helmholtz ripresentò⁷⁰ in modo indipendente la maggior parte dei risultati già ottenuti dall'americano, ma Gibbs fu subito conosciuto ed apprezzato nel gruppo rifacentesi a Sainte-Claire Deville.

L'applicazione della termodinamica alla chimica permise a Gibbs di impostare non solo la trattazione del problema delle condizioni di equilibrio, ma anche quella relativa alle leggi di spostamento dell'equilibrio, cioè della dipendenza del senso di una reazione dalle condizioni esterne. In questo campo fu particolarmente attivo anche Jules Moutier. Gli studi sullo spostamento dell'equilibrio chimico culminarono nella importantissima opera di Van't Hoff del 1884⁷¹.

⁷⁰ Helmholtz, 1882. Mentre esistono moltissimi studi sull'opera fisiologica, geometrica, elettrodinamica, meccanica e termologica di Helmholtz, non esiste studio a me noto sul suo contributo alla chimica. Questo aspetto è sommariamente trattato in quello che rimane il piú ampio lavoro su Helmholtz: Koenigsberger, 1902-1903.

⁷¹ Van't Hoff, 1884. Di Van't Hoff è però attualmente assai piú studiato il contributo alla stereochimica. Cfr. Snelders, 1973; Ramsay, 1975; Gay, 1978.

A questa data ormai Duhem era già formato: proprio di quest'anno è il suo primo lavoro pubblicato⁷². Egli fin dal liceo era stato, per influenza di Moutier, attratto dalla meccanica chimica. All'*École Normale* si era trovato immerso nell'ambiente degli allievi di Sainte-Claire Deville e aveva vissuto molto da vicino tutti i più recenti sviluppi della nuova teoria. Le conseguenze che egli trasse da questa esperienza furono determinanti per tutto il suo lavoro scientifico, epistemologico, storico.

5. - I PRIMI LAVORI SCIENTIFICI DI DUHEM.

Gli studi e le riflessioni che Duhem compì sulla meccanica chimica lo condussero a una serie di convinzioni importantissime, centrali per tutta la sua successiva attività.

Nella meccanica chimica Duhem vide innanzi tutto la dimostrazione che la termodinamica era divenuta una teoria più ampia della meccanica, capace di unificare settori d'esperienza in precedenza divisi, come fenomeni meccanici, termici, chimici. Teoria unitaria, caratterizzata da un corpo ristretto di principi, capaci però con rigorose deduzioni di estendersi a un vastissimo campo sperimentale. Era per Duhem la realizzazione sempre più completa del programma dell'energetica, abbozzato da Rankine, realizzato per la meccanica da Thomson e Tait, per l'elettricità da Helmholtz⁷³, per la chimica da Gibbs e dalla scuola di Sainte-Claire Deville.

Era questa la nuova teoria unitaria da opporre alla fisica inglese, nuova anch'essa ma incoerente; questa la migliore approssimazione all'ideale di classificazione naturale. Era l'alternativa concretamente esistente cui appoggiarsi per non cedere alla nuova moda che veniva d'Oltremarica e che aveva sedotto Poincaré, la quale accettava, anzi esaltava la frantumazione della fisica teorica, l'uso di concezioni alternative in luogo di un solo disegno teorico unitario e coerente. Essa proseguiva la tendenza al rigore e alla chiarezza che sempre era stato il patrimonio della cultura francese da Cartesio agli illuministi, a Laplace, a Fourier, a Cauchy.

La nuova energetica proponeva un esempio di teoria scientifica matematizzata ma non modellista. I principi della teoria sono equazioni e

⁷³ Sull'impostazione di Helmholtz nel campo dell'elettricità, che è stata trascurata nelle pagine precedenti per evitare una eccessiva deviazione del discorso, cfr. Woodruff, 1962 e 1968; Buchlein, 1971; D'Agostino, 1971.

la matematica svolge una funzione deduttiva assolutamente ineliminabile, ma i principi non vertono su ipotetiche proprietà della materia; sono costrutti teorici, ipotesi astratte che hanno quale fondamentale funzione quella di permettere la costruzione di una struttura matematica nella quale le leggi sperimentali trovino una loro unificazione. A loro volta le leggi sperimentali costituiscono l'unico materiale su cui possa lavorare il fisico teorico, stabiliscono il confine oltre il quale l'indagine scientifica non si può spingere. Esse trattano di qualità fenomeniche e la pretesa di andare oltre, di far scomparire le qualità fenomeniche per ricondurle alla pura quantità attraverso il ricorso a ipotetiche strutture nascoste è da condannare. Si rispettava così la tradizionale prudenza positivista verso ogni pericolosa ipostatizzazione delle ipotesi, verso ogni equivoco tra costrutti teorici e realtà materiale, ma veniva anche recuperata la grande tradizione della gloriosa fisica matematica d'inizio secolo che nella matematica vedeva lo strumento principe per la comprensione della realtà. Avveniva cioè, accanto ad una estensione di una tematica tipica dello sperimentalismo positivista, anche una genuina ripresa dell'interesse per la componente teorica dell'impresa scientifica.

Infine, nella nuova teoria Duhem trovò una estensione della meccanica che avveniva conservando il massimo dell'analogia con la meccanica stessa. I nuovi principi teorici manifestano una sorprendente somiglianza con quelli vecchi, più che il superamento ne appaiono la generalizzazione. Il trapasso della meccanica all'energetica pare essere piuttosto che un evento rivoluzionario un tranquillo sviluppo nel quale della meccanica vengono lasciate cadere solo le componenti meno essenziali, sostanzialmente quelle idee legate a problemi di raffigurazione o vertenti sulla realtà extra-fenomenica, e sono invece conservate le componenti matematico-empiriche. Questo trapasso offriva, in definitiva, un'immagine *continuitista* del procedere della scienza nella storia.

La fisica, l'epistemologia e la visione della storia di Duhem nacquero dunque in polemica con la fisica inglese e appoggiandosi alla meccanica chimica. Un rapido sguardo ai suoi primi lavori scientifici ed epistemologici servirà a dimostrare quanto appena detto.

L'esordio di Duhem nella pubblicistica mostra già una linea di pensiero chiara nel suo tronco principale. Il giovane studioso intraprese il disegno di applicare i principi della termodinamica al di là del campo del calore: alla teoria della pila voltaica, all'induzione elettrodinamica, ai fenomeni termoelettrici e piroelettrici, alla capillarità e soprattutto

alla meccanica chimica ⁷⁴. È un'ardita generalizzazione dell'originale programma della fisica inglese che raccoglie le piú recenti suggestioni di Gibbs, Helmholtz e della scuola di Sainte-Claire Deville.

Ciò che vi è di piú caratteristico nello sforzo di Duhem, che trovò un primo coronamento in *Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à la théorie des phénomènes électriques* del 1886, è la ricerca di una teoria che sia una generalizzazione della meccanica, nel senso che conservi nei suoi principi una stretta analogia con la scienza piú antica e stimata. Fu questa una posizione largamente presente nella chimica francese di fine secolo. Già l'opera di Sainte-Claire Deville si fondava, lo si è visto, su una riunificazione tra chimica e fisica. Anche Le Chatelier ⁷⁵ sosteneva, pur su basi metodologicamente differenti da quelle duhemiane, che nel considerare il rapporto esistente tra chimica, fisica e meccanica se si pongono a confronto

non i casi estremi, ma quelli intermedi, si arriva all'idea che non è piú il caso di fare una distinzione assoluta tra le trasformazioni fisico-chimiche e le trasformazioni meccaniche. Ogni modificazione che un corpo può subire in una qualsiasi delle sue proprietà appartiene a una stessa categoria di fenomeni le cui leggi devono essere se non identiche, almeno estremamente simili. Le leggi, oggi ben note, dei fenomeni meccanici devono, con una conveniente generalizzazione, divenire applicabili ai fenomeni chimici ⁷⁶.

Queste parole saranno poi riprese alla lettera da Schützenberger nelle sue lezioni al Collège de France degli anni 1895 e 1896 ⁷⁷. Tuttavia in Duhem piú che in ogni altro questa posizione programmatica fu perseguita con convinzione ed entusiasmo e, soprattutto, trovò realizzazione nella elaborazione di una robusta e vasta impalcatura formalizzata. Centrale in questa elaborazione duhemiana fu sin dall'inizio il concetto di potenziale termodinamico che dovrebbe svolgere nei processi chimici ed elettrici la stessa funzione che svolge il concetto di potenziale nella meccanica razionale. A questo fine il giovane Duhem non esitò a criticare lo stesso Gibbs ⁷⁸ e a cercare una riformulazione della meccanica chimica che meglio facesse risaltare l'analogia tra questa e la meccanica tradizionale. Grazie alla elaborazione del concetto di potenziale termodinamico

⁷⁴ Duhem, 1884, 1885 a, 1885 b, 1885 c.

⁷⁵ Su Le Chatelier cfr. Le Chatelier, 1968.

⁷⁶ Cit. in Schützenberger, 1898, pp. 86-7.

⁷⁷ *Ibid.*

⁷⁸ Cfr. Duhem, 1887.

totale di un sistema (equivalente alla somma della funzione caratteristica di Massieu e del potenziale delle forze esterne che agiscono sul sistema) Duhem fu in grado di enunciare⁷⁹ un principio generale dell'equilibrio per un sistema che compia trasformazioni non puramente meccaniche di forma assai suggestiva: un sistema è in equilibrio stabile se il valore del suo potenziale termodinamico totale è minimo tra tutti i valori che la stessa grandezza può assumere alla stessa temperatura.

È strettissima l'analogia con il principio, proprio della meccanica, dell'equilibrio di un sistema meccanico soggetto a forze che ammettono

⁷⁹ Diamo qui di seguito per il lettore interessato una breve e semplificata descrizione dell'impostazione duhemiana circa le leggi che regolano l'equilibrio dei sistemi che compiono trasformazioni non puramente meccaniche. Il ragionamento è nella sostanza quello presente in Duhem, 1886, ma ho preferito seguire da vicino quello di Duhem, 1893 a, perché piú semplice e chiaro.

Duhem parte dal secondo principio della termodinamica nella forma datagli da Clausius: se un sistema compie una serie di trasformazioni realizzabili (in parte non reversibili) che gli fanno percorrere un ciclo dallo stato *a* allo stato *b* e viceversa, si ha:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} = S_a - S_b + P$$

dove Q_1, Q_2, \dots, Q_n sono le quantità di calore cedute alle varie temperature T_1, T_2, \dots, T_n ; S_a e S_b sono le entropie nello stato *a* e nello stato *b*; P è una quantità positiva detta da Clausius trasformazione non compensata.

Nel caso particolare di una modificazione isoterma (a temperatura costante) l'equazione diventa:

$$\frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{T} = S_a - S_b + P$$

$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$ rappresenta il calore totale Q ceduto durante la modificazione, pertanto possiamo scrivere:

$$\frac{Q}{T} = S_a - S_b + P$$

oppure:

$$Q = T \cdot (S_a - S_b) + T \cdot P$$

Moltiplicando entrambi i membri di quest'ultima equazione per l'equivalente meccanico del calore E si ottiene una nuova equazione i cui termini sono dimensionalmente dei lavori:

$$E \cdot Q = E \cdot T \cdot (S_a - S_b) + E \cdot T \cdot P$$

Il termine $\tau = ETP = EQ - ET(S_a - S_b)$ prende il nome di lavoro non compensato. Poiché P è positivo anche τ è positivo: ogni trasformazione isoterma realizzabile implica un lavoro non compensato positivo.

Il principio di equivalenza tra calore e lavoro, o primo principio della ter-

un potenziale: un tale sistema è in equilibrio stabile quando il potenziale delle forze agenti ha un valore minimo.

Sempre partendo dal concetto di potenziale termodinamico totale Duhem affrontò anche i problemi dello spostamento dell'equilibrio, ancora ricercando il massimo dell'analogia con le leggi della meccanica razionale. Il concetto di potenziale termodinamico consentì così a Duhem di affrontare svariati problemi termici, chimici, elettrici, termoelettrici, ma anche meccanici, come quelli della capillarità, partendo da un insieme di principi che permettono di trattare da un punto di vista unitario un complesso di ricerche che ancora in Gibbs e in Helmholtz erano sparpagliate e difficilmente componibili con quelle di altri studiosi.

modinamica, nella forma datagli da Clausius afferma (ammettendo di trascurare la variazione di energia cinetica del sistema in esame):

$$E \cdot Q = E (U_a - U_b) + \tau_e$$

dove U_a e U_b sono le energie interne degli stati a e b , τ_e è il lavoro compiuto dalle forze esterne.

Usando questa equazione l'espressione del lavoro non compensato diventa:

$$\tau = E \cdot (U_a - U_b) + \tau_e - ET \cdot (S_a - S_b)$$

o anche:

$$\tau = E (U_a - TS_a) - E (U_b - TS_b) + \tau_e$$

La grandezza $F = E (U - T \cdot S)$, poiché U e S dipendono solo dallo stato del sistema, dipende anch'essa solo dallo stato del sistema. Questa grandezza era stata studiata da Massieu e chiamata funzione caratteristica del sistema. Duhem la chiama *potenziale termodinamico interno*, in vista di giungere ad una formulazione teorica formalmente vicina a quella della meccanica. L'ultima equazione può allora essere scritta:

$$\tau = F_a - F_b + \tau_e$$

Nel caso in cui le forze esterne ammettono un potenziale Ω il lavoro delle forze esterne (per la stessa definizione meccanica di potenziale) è dato da:

$$\tau_e = \Omega_a - \Omega_b$$

L'espressione del lavoro non compensato può allora essere scritta così:

$$\tau = F_a + \Omega_a - (F_b + \Omega_b)$$

Dunque in questo caso il lavoro non compensato compiuto durante una modificazione del sistema è uguale alla diminuzione di una grandezza $\phi = F + \Omega$ che dipende solo dallo stato del sistema:

$$\tau = \phi_a - \phi_b$$

Questa grandezza ϕ prende il nome di *potenziale termodinamico totale*. Poiché τ è positivo anche $\phi_a - \phi_b$ è positivo. *Non è possibile una trasformazione realizzabile nella quale si abbia una variazione di potenziale termodinamico totale negativa o nulla.*

Questo punto di vista unitario conserva un'analogia con la meccanica che conferisce alla nuova scienza una amalgama, un legame con la scienza classica d'inizio secolo, con il programma di Laplace e Berthollet, che a parere di Duhem è assolutamente decisivo per chi voglia giudicare le ragioni della meccanica generalizzata grazie alla termodinamica. La ricerca di questa analogia costituisce il cemento unificante dell'opera di tutti i tentativi di coloro che, senza rapporti reciproci, hanno contribuito a costruire le varie parti del nuovo edificio teorico. Nel 1892, nell'opera che costituisce la prima riflessione storico-filosofica di ampio respiro di Duhem, la *Introduction à la mécanique chimique*, egli dirà: « È l'idea di questa analogia da ricercare che conferisce unità ai diversi tentativi fatti per stabilire la meccanica chimica e che, malgrado le divergenze tra le teorie proposte, stabilisce tra di esse il legame di una sorta di tradizione »⁸⁰.

In questo rapporto analogico tra meccanica classica e nuova meccanica generalizzata sta, a mio avviso, la vera origine del continuismo duhemiano. Ancora l'idea di una storia della scienza come lenta e graduale evoluzione non è negli scritti giovanili affermata come tesi storiografica generale, manca anzi una reale dimensione storica della scienza, mancano i motivi culturali e religiosi che ben presto verranno a legarsi inestricabilmente alla tesi continuista, ma è fuori di dubbio che la riflessione scientifica concretamente condotta da Duhem nei primissimi anni di attività, mostrando una nuova fisica che cresce generalizzando, non opponendosi alla vecchia meccanica e ricercando il massimo d'unitarietà, pose delle importantissime premesse da cui non potrà assolutamente prescindere la più ampia riflessione successiva.

Un ulteriore aspetto che emerge da questi primi lavori è l'elevato livello di matematizzazione che presenta l'approccio duhemiano. È stato osservato che l'energetica si oppose alle teorie di tipo atomistico anche per la scarsa dimestichezza dei suoi esponenti con la matematica più raffinata⁸¹. Questo può essere vero, sia pure con molte riserve, per Mach o per Ostwald ma è un giudizio assolutamente erroneo se applicato a Duhem. Ciò che subito salta agli occhi alla lettura delle prime opere di Duhem non è affatto il fenomenismo, ma è la matematizzazione di ambiti fino ad allora prevalentemente sperimentali. La teoria che Duhem

⁸⁰ Duhem, 1893 a, p. 115. L'opera fu tuttavia terminata nel 1892.

⁸¹ Cfr. D'Abro, 1951, I, p. 92.

intende costruire parte da concetti di grande generalità, quindi fortemente astratti, quale quello di potenziale termodinamico, ed ha come modello di riferimento la grande fisica matematica d'inizio secolo. La meccanica chimica, e tutta la meccanica generalizzata, pongono a proprio fondamento costruzioni teoriche, equazioni matematiche che non sono direttamente riconducibili all'esperienza, contengono termini affatto intuitivi e per nulla corrispondenti a qualche oggetto o processo reale. L'esigenza epistemologica di impiegare concetti direttamente legati all'esperienza, caratteristica dell'impostazione fenomenista, era in fondo uno dei pilastri della concezione positivista ed il modellismo inglese era dominato dall'esigenza di dare una veste materiale ai simboli matematici, di « incarnare » le proprie equazioni. Il problema epistemologico che per Duhem pone la nuova termodinamica è esattamente l'opposto di quello centrale in un programma fenomenista: non si tratta di rivendicare i diritti dell'esperienza o dell'intuizione sensibile, già ampiamente difesi dal positivismo e dal modellismo anglosassone, ma di riaffermare i diritti dell'astrazione. Il nocciolo attorno cui ruoterà tutta la sua riflessione epistemologica sarà proprio questo: come giustificare una teoria fisica che si proponga certo di « salvare i fenomeni », ma che non sia costretta a rinunciare a concetti teorici proficui in quanto non intuitivi o non legati direttamente all'esperienza? Gli attacchi da cui Duhem doveva difendersi erano rivolti contro l'« eccesso » di matematica, di astrazione presente nella sua teoria:

La termodinamica fa dipendere la possibilità di una modificazione dal segno del calore [qui Duhem usa il termine « lavoro » ma si tratta evidentemente di una svista] non compensato sviluppato dal sistema che subisce questa modificazione. La legge così ottenuta può stupire le abitudini di alcuni pensatori; il calore non compensato non è, come il calore totale sviluppato in una reazione, direttamente accessibile alle misurazioni calorimetriche. È vero che, in questa definizione, si fanno entrare, in ultima analisi, solamente nozioni suggerite dall'esperienza, ma la strada che conduce da queste nozioni a quella di quantità di calore non compensato è così tortuosa che quest'ultima quantità sembra avere soltanto un'esistenza algebrica. Certi fisici, sui quali le considerazioni di pura logica hanno poca presa e che vorrebbero sempre parlare unicamente di quantità direttamente misurabili, accetteranno forse difficilmente una teoria che appoggia su delle nozioni così poco concrete ⁸².

⁸² Duhem, 1893 a, p. 136.

Il piú tipico esponente della cultura positivista, Berthelot, reagirà alle critiche mossegli da Duhem parlando sprezzantemente di « persone che si abbandonano a calcoli di fisica matematica »⁸³. Le Chatelier, altra figura di primissimo piano nella cultura scientifica francese (e internazionale) di fine secolo, ironizzò pesantemente in nome della genuina tradizione sperimentalista sui lavori matematici di termodinamica applicata alla chimica:

Ne risulterebbe, a sentire i loro autori, che le leggi numeriche degli equilibri chimici possono essere stabilite a priori per mezzo del calcolo, indipendentemente da ogni dato sperimentale al di fuori dei due principi fondamentali della termodinamica ... I chimici propriamente detti, i chimici sperimentatori, si sono fino ad oggi quasi completamente disinteressati di simili ricerche. È sembrato loro difficile fare una scelta tra le conseguenze sempre indiscutibili della termodinamica e pertanto variabili da un anno all'altro e da un autore all'altro⁸⁴.

La chimica era stata per anni il regno degli sperimentatori, ora con la termodinamica il campo veniva invaso da quello che Duhem chiama lo « spirito della fisica classica »⁸⁵, cioè la matematizzazione. La nuova meccanica per Duhem non offriva affatto un esempio di teoria induttivista: al contrario essa apriva il problema di giustificare una teoria antiinduttivista. L'antiinduttivismo fu il cuore dell'epistemologia duhemiana ed è la rivendicazione del valore dell'astrazione libera a render ancor oggi questa epistemologia tanto vitale, fu questa che differenziò Duhem, come si vedrà al capitolo quinto, da tutti i maggiori critici del meccanicismo, da Rankine a Mach, da Stallo ad Ostwald, da Pearsons allo stesso Poincaré. Solo Hertz seppe esprimere una concezione paragonabile a quella duhemiana.

Duhem può essere considerato fenomenista a patto che si precisi questa nozione: egli fu fenomenista nel senso che ammise, nei termini che saranno precisati meglio piú avanti, solo due tipi di concetti: concetti astratti e concetti direttamente legati a grandezze misurabili. Non ammise concetti che si riferissero a realtà ipotetiche, concetti che non sono astratti (in quanto dotati di un referente materiale, sia pure ipotetico) né sono empirici. Egli fu perciò antimodellista cosí come lo furono

⁸³ Cit. in Duhem, 1897, p. 28. L'affermazione originale è nei *Comptes Rendus* del 25 giugno 1894.

⁸⁴ Le Chaterleir, 1886, p. 1.

⁸⁵ Duhem, 1899 a, p. 20.

il positivismo e l'empirismo tedesco ispirato da Mach, ma il suo antimodellismo non lo portò ad appiattare la teoria sull'esperienza. In Francia, a differenza che in Germania, la battaglia in favore dell'empiria, del valore supremo del giudizio del mondo fenomenico era già stata ampiamente condotta dal positivismo. Una volta ammesso il valore della critica positivista (rinvigorita dagli echi delle opere machiane) all'ipostatizzazione delle ipotesi, la battaglia di Duhem fu tutta in favore del valore della teoria. La stragrande maggioranza degli esponenti del filone fenomenista di fine secolo si batté per l'eliminazione dei termini teorici, Duhem si batté, pur sostenendo che nessuna teoria può andare oltre l'esperienza, in favore della ineliminabilità dei termini teorici. Porre tutti sotto la stessa etichetta di « fisici fenomenisti » genera evidentemente una insopportabile confusione.

Il libro del 1886, *Le potentiel...*, costituiva originariamente la tesi di dottorato presentata nel 1884. Essa conteneva una esaltazione dei contributi della scuola di Sainte-Claire Deville e naturalmente molte critiche a Berthelot. Fu rifiutata e, visto il suo valore, non vi è da dubitare che questo rifiuto sia dipeso dalla personale opposizione del potentissimo avversario. Duhem presentò un'altra tesi sul magnetismo ma fece pubblicare a proprie spese la prima, inimicandosi in maniera definitiva Berthelot, che proprio dal 1886 al 1887 divenne ministro della Pubblica Istruzione ed era celeberrimo per il carattere dispotico.

Nel 1887 Duhem cominciò a insegnare fisica come *Maître de conférences* all'Università di Lilla, ove rimase fino al 1893, anno in cui fu nominato a Rennes. Continuò ad occuparsi in questi anni in modo preponderante di meccanica chimica, ma si preoccupò anche di estendere l'approccio termodinamico a settori sempre più ampi dell'esperienza. I testi più significativi a questo proposito sono i due volumi del corso tenuto a Lilla nel 1890-91, pubblicati nel 1891 con il titolo *Hydrodynamique, Elasticité, Acoustique*, e i tre volumi *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, pubblicati tra il 1890 e il 1892.

In questi lavori di sorprendente ricchezza d'informazione il programma di lavoro è più ampio ma sulla stessa linea di quello che sorreggeva il testo del 1886: si tratta sempre di costruire una teoria che, partendo da principi e concetti ricavati dalla termodinamica, riesca a organizzare in una compatta struttura matematica, che nulla conceda al modellismo o all'incoerenza logica, un vasto campo fenomenico già studiato nei dettagli ma in modo ancora slegato:

Sembra venuto il momento di coordinare i risultati di tanti sforzi, di riunire in

un fascio unico queste ricerche concepite a partire dalle idee piú diverse, scritte in tutte le lingue, disperse in tutte le riviste... Ciò che noi ci siamo proposti di scrivere è un esposto il piú unitario, il piú logico possibile... e non una compilazione delle teorie sull'elettricità e il magnetismo. Il minerale che contiene la scienza trattiene sempre della ganga, noi abbiamo respinto molta di questa ganga. Dopo aver, per dieci anni, meditato sulle diverse parti della scienza elettrica, noi ci siamo convinti che tutto quello che c'è di chiaro e fecondo in questa scienza poteva raggrupparsi con molto ordine e unitarietà attorno ad alcuni principi improntati alla meccanica e alla termodinamica, ed è questo raggruppamento che abbiamo tentato di esporre⁸⁶.

La trattazione di problemi tradizionali della meccanica mostra poi un diretto, significativo collegamento con il *Treatise* di Thomson e Tait, che è alla base dei due volumi *Hydrodynamique, élasticité, acoustique*. Questo collegamento consente a Duhem di inserire un grande pezzo (non modellista) della fisica ottocentesca elaborato proprio dai suoi grandi avversari d'Oltremarica entro il mosaico che vuol configurare una nuova fisica unitaria non modellista. La dinamica astratta lagrangiana rielaborata e potenziata dagli inglesi è un metodo potentissimo e corretto nel giudizio di Duhem⁸⁷ proprio perché rifugge dal modellismo. Essa rappresenta una reale svolta metodologica, una alternativa feconda rispetto alla fisica modellista di Poisson, ed è qui per la prima volta teorizzata quella opposizione tra Poisson e Lagrange che costituirà uno dei fili conduttori della *Évolution de la mécanique* del 1903. Come Poincaré, Duhem dimostra di saper apprezzare il valore calcolistico e metodologico della dinamica astratta elaborata dagli inglesi ma, a differenza di Poincaré, ne radicalizza la funzione antimodellista e può così porre, per questo aspetto, il meccanicista Thomson tra i fondatori della termodinamica generale, vicino a Sainte-Claire Deville e a Gibbs. È questa una riprova assai significativa della differenza che intercorre tra il *Treatise* di Thomson e la sua successiva produzione modellistica legata alla teoria dell'atomo-vortice.

6. - I PRIMI SCRITTI EPISTEMOLOGICI.

Il 1892 fu un anno cruciale per Duhem: dopo avere, negli anni precedenti, compiuto una applicazione estensiva, con impegno quasi feb-

⁸⁶ Duhem, 1891-2, I, pp. v-vi.

⁸⁷ Duhem, 1891, II, p. 259 e ss.

brile, della termodinamica ai piú svariati settori, egli sembrò voler provvisoriamente arrestare questo lavoro di costruzione per soffermarsi a considerarne le fondamenta. Dalle riflessioni epistemologiche sulla termodinamica e sulla sua rivale, la fisica inglese, nacque nel biennio 1892-1894 il nucleo centrale dell'epistemologia duhemiana.

La prima lezione che Duhem trasse dalla termodinamica è quella già ampiamente evidente nei suoi lavori precedenti: la natura astratta delle teorie scientifiche, l'antiinduttivismo della fisica teorica. L'articolo del 1892 *Commentaire aux principes de la thermodynamique* presenta, assumendo appunto quale oggetto d'indagine la termodinamica, un processo di costruzione della teoria del tutto autonomo rispetto all'esperienza, condotto *more geometrico*.

All'inizio della teoria sono poste certe *convenzioni* e certe *definizioni* che costituiscono i principi fondamentali della nuova meccanica e gli assiomi necessari al suo sviluppo. Definizioni e convenzioni fissano le condizioni generali alle quali saranno necessariamente sottoposte tutte le proposizioni enunciate nel seguito. Disegnano il quadro rigido che delimiterà in modo netto il dominio della teoria. Esse sono enunciate con assoluta negligenza di ogni intuizione sperimentale, in base a scelte che hanno quale *solo scopo quello di permettere la costruzione della teoria*. Ad esempio, tra le definizioni troviamo quelle di corpo e di miscuglio:

Chiameremo corpo uno spazio linearmente connesso riempito, in modo continuo, da una certa parte della materia. Non discuteremo la questione di sapere se i corpi sono realmente continui, o formati da parti discontinue molto piccole separate da intervalli vuoti ugualmente piccoli. In fisica è al contempo impossibile e inutile conoscere la costituzione reale della materia. Cercheremo semplicemente di concepire un sistema astratto che ci fornisca una immagine delle proprietà dei corpi. Per costruire questo sistema siamo liberi di rappresentare un corpo che sembra continuo sia per mezzo di una distribuzione continua di materia in un certo spazio, sia per mezzo di un insieme discontinuo di atomi piccolissimi. Il primo modo di rappresentazione conduce, in tutte le parti della fisica, a teorie piú semplici, piú chiare e piú eleganti, e noi l'adotteremo preferendolo al secondo⁸⁸.

Analogamente nel prosieguo la definizione di energia, di quantità di calore, di lavoro, la nozione di modificazione reversibile sono presentate come altrettante convenzioni poste arbitrariamente. I postulati della termodinamica, il principio di conservazione dell'energia e il principio di

⁸⁸ Duhem, 1892-3-4, VIII (1892), p. 272.

Carnot, sono introdotti come deduzioni analitiche dalle convenzioni generali e da altre convenzioni particolari. Questi postulati, insieme con le definizioni e le convenzioni, servono a formulare le equazioni della meccanica generale che Duhem può così presentare come conseguenza della termodinamica. Tutto il lavoro è costellato di espressioni come « noi sceglieremo », « noi ammetteremo come esatto », « noi converremo che », mai è considerata l'esperienza, la realtà di cui la teoria astratta vorrebbe alla fine occuparsi.

Mai, in nessun altro suo scritto, Duhem raggiungerà una forma di convenzionalismo così radicale come nel *Commentaire*: qui egli analizzava la struttura teorica ideale della termodinamica, preoccupato di darne una esposizione che soddisfacesse pienamente i dettami del rigore e della logica. Così facendo lasciava aperta la questione fondamentale del rapporto tra schema astratto e realtà concreta. Questo problema veniva affrontato nello stesso anno in *Quelques réflexions au sujet des théories physiques*.

Qui Duhem esordisce affermando il sostanziale disinteresse dal punto di vista della metodologia scientifica delle leggi puramente sperimentali: « Ai filosofi spetta analizzare il meccanismo del procedimento induttivo che permette di passare dai fatti alle leggi, discuterne la generalità e la certezza delle leggi così stabilite »⁸⁹. Di lì a poco Duhem cambierà posizione, mostrando come la scienza sperimentale ponga problemi metodologicamente assai sottili. Per ora egli era ancora tutto concentrato sul versante teorico della fisica.

Per Duhem lo scopo fondamentale della fisica teorica è utilitaristico ed egli lo esprime con parole che richiamano molto da vicino quelle di Mach, anche se questi non viene citato né mai lo sarà per molti anni: « La scienza teorica ha per scopo quello di soccorrere la memoria ed aiutarla a ritenere più facilmente la moltitudine di leggi sperimentali. Allorquando una teoria è costituita il fisico, invece di dover rammentare isolatamente una moltitudine di leggi, deve soltanto preoccuparsi di ricordare un piccolo numero di definizioni e di proposizioni »⁹⁰.

Il rapporto tra scienza teorica e scienza sperimentale si costituisce per mezzo di definizioni: il fisico prende le nozioni su cui portano le leggi che vuol riunire in una teoria e ad ogni nozione per mezzo

⁸⁹ Duhem, 1892 a, p. 140.

⁹⁰ *Ibid.*

di una definizione fa corrispondere una grandezza algebrica o geometrica. « Le definizioni fisiche costituiscono un vero vocabolario: come un dizionario francese è un insieme di convenzioni che fanno corrispondere a ogni oggetto un nome, analogamente in una teoria fisica le definizioni sono un insieme di convenzioni che fanno corrispondere una grandezza fisica a ogni nozione fisica ». La definizione è « arbitraria »; si possono « avere una infinità di definizioni per una nozione »⁹¹.

Pur disinteressandosi dunque di affrontare direttamente i problemi metodologici posti dalla fisica sperimentale, Duhem qui già evidenzia uno dei tratti salienti della propria epistemologia: tra livello teorico della scienza e livello osservativo vi è una frattura, o meglio una distinzione di sostanza. Gli enti di cui parla la teoria sono costruzioni mentali, idee, segni; il mondo dell'esperienza è al di fuori di questo mondo. Un collegamento tra i due mondi può essere stabilito tramite le definizioni, ma è, appunto, un collegamento di definizione, arbitrario, convenzionale. Tra teoria ed esperienza, dunque, il rapporto non è mai univoco.

Il discorso sulla definizione qui svolto costituirà il nucleo del primo capitolo della seconda parte della *Théorie physique* che è fin d'ora presente nelle sue linee fondamentali, ma muterà, come vedremo, il quadro epistemologico generale e diversa portata avrà l'arbitrarietà delle definizioni stesse.

Nello stesso lavoro del 1892 è contenuto un altro relevantissimo aspetto della concezione epistemologica duhemiana; cioè l'affermazione della natura ipotetica dei principi teorici, quindi quella ipotetico-deduttiva delle teorie. Una volta stabilite le grandezze astratte di cui tratta la teoria, il fisico stabilisce un certo numero di relazioni espresse da proposizioni matematiche che si assumono come principi, come ipotesi della teoria. Alcune delle deduzioni che si traggono da esse possono, per mezzo delle definizioni, essere messe a confronto con l'esperienza. Se queste conseguenze verificabili empiricamente risultano in accordo con le leggi sperimentali la teoria è da considerarsi una buona teoria:

Noi siamo assolutamente liberi di scegliere le ipotesi come ci pare; posto che le conseguenze logicamente dedotte da queste ipotesi per mezzo dell'analisi matema-

⁹¹ *Ibid.*, pp. 143-4.

tica ci forniscano il simbolo di un gran numero di leggi sperimentali esatte, nessuno ha il diritto di chiederci di render conto delle considerazioni che ci hanno dettato la scelta⁹².

In questo testo del 1892 troviamo così molto chiaramente affermata l'idea che le nozioni astratte sono il punto di partenza per l'organizzazione teorica dell'esperienza, che non è lecito chiedere che ogni singola parte della teoria sia confermata empiricamente ma che questa conferma debba essere richiesta e trovata per il complesso della teoria, per l'insieme delle conseguenze che dai principi astratti si possono dedurre analiticamente. Va perciò rivisto il giudizio dato da Cassirer, e che molto ha pesato sulla storiografia successiva, secondo cui il primo a proporre questo indirizzo sarebbe stato Hertz⁹³. Questi espresse un'idea simile solo nel 1894, in *Die Prinzipien der Mechanik*, e in forma assai meno chiara e convincente di Duhem.

L'articolo contiene altri elementi assai importanti che ricompariranno nella *Théorie* e che esaminerò nei dettagli più avanti: la critica del metodo induttivo con riferimento al famoso esempio di Newton che non prese affatto come punto di partenza per la sua teoria della gravitazione le leggi di Keplero, ma una loro correzione e modificazione⁹⁴; la sottolineatura della grande importanza del grado di precisione delle misurazioni per la validità di una legge (« in fisica due leggi, differenti per la forma, devono essere considerate identiche se i loro scarti non possono essere constatati per mezzo dei metodi di osservazione di cui si dispone »)⁹⁵; la critica delle teorie meccaniciste; l'affermazione, corollario della concezione di teoria fisica esposta, che la fisica teorica non è una spiegazione metafisica del mondo reale.

Vi è però un paragrafo che nella *Théorie* subirà una drastica modificazione: quello relativo alla scelta delle ipotesi base di una teoria. Duhem è convinto che, per quanto le ipotesi astratte siano per loro natura arbitrarie, di fatto la loro scelta non è mai fatta a caso; esistono « metodi generali secondo cui sono assunte le ipotesi fondamentali »⁹⁶. Il « metodo ideale e perfetto » sarebbe quello di prender per ipotesi delle leggi sperimentali; allora tutta la teoria sarebbe controllabile speri-

⁹² *Ibid.*, p. 146.

⁹³ Cassirer, 1968, IV, p. 166.

⁹⁴ Duhem, 1892 a, pp. 147-8.

⁹⁵ *Ibid.*, p. 150.

⁹⁶ *Ibid.*, p. 146.

mentalmente. Ma questo ideale dell'induttivismo non è mai stato realizzato da nessuno. Occorre ammettere ipotesi astratte e scegliere, quando si presentano vari sistemi teorici tutti equivalenti nei confronti dell'esperienza, in base a criteri razionali.

Qui il discorso è sviluppato in aperta polemica con Poincaré a proposito della teoria elettromagnetica di Maxwell. Poincaré di fronte a teorie equivalenti dal punto di vista empirico non opera una scelta, ammette rappresentazioni differenti per lo stesso gruppo di fenomeni. Una scelta è invece possibile. Già la semplice richiesta del rigore logico da rispettare nelle deduzioni delle teorie elimina molte delle teorie correnti. Inoltre, poste teorie equivalenti logicamente perfette, si possono comunque compiere delle scelte in base a tre caratteri: la estensione della teoria, il numero delle ipotesi (« quella che invoca il minor numero di ipotesi è, a colpo sicuro, la migliore »), la natura delle ipotesi (le ipotesi di una teoria possono essere « più semplici, più naturali, tradurre più immediatamente i dati dell'esperienza » delle ipotesi dell'altra teoria)⁹⁷.

Questa è la pagina in cui Duhem più si avvicina al *cliché* del « semplicismo duhemiano », tanto in voga in ambienti anglosassoni e sostenuto da studiosi come Agassi e Lakatos, secondo il quale il convenzionalismo di Duhem si reggerebbe fondamentalmente sul criterio della semplicità⁹⁸. Peccato che queste poche pagine non siano mai state prese in considerazione da questi studiosi e peccato ancor maggiore che lo sviluppo del pensiero di Duhem lo porterà a negarle: egli negherà sia la validità del criterio della semplicità, sia la possibilità qui espressa di dare dei criteri di scelta, sia, infine, la necessità di avere a disposizione dei criteri di scelta sostenendo nella *Théorie* che lo scienziato non sceglie le proprie ipotesi, al contrario è l'ipotesi che sceglie lo scienziato⁹⁹.

Il discorso epistemologico svolto in *Quelques réflexions* assunse una « forma concreta » pochi mesi dopo in *Notation atomique et hypothèses atomistiques*. Qui Duhem vuol dimostrare che le teorie della chimica moderna non sono necessariamente collegate all'ipotesi atomistica, che tutte le più recenti teorie chimiche possono essere ritradotte in formato da prescindere completamente dal riferimento ad una realtà materiale avente struttura atomica. Le teorie chimiche, in altri termini, si adeguano al modello epistemologico espresso pochi mesi prima, sono co-

⁹⁷ *Ibid.*, p. 170.

⁹⁸ Cfr. Agassi, 1978; Lakatos, 1976 a.

⁹⁹ Cfr. Cap. III.

struzioni astratte aventi come scopo quello di coordinare un vasto insieme di leggi fenomeniche.

Quest'articolo è interessante almeno per due aspetti. Esso dimostra viepiù il grandissimo peso che ha avuto sull'epistemologia di Duhem lo sviluppo della chimica e l'influenza sulla interpretazione anti-realista delle ipotesi teoriche data da Duhem che fu esercitata da parte di tutti quei chimici francesi che si erano opposti all'introduzione in Francia della teoria atomica ad opera di Wurtz. Le mie idee sulle teorie fisiche, dice Duhem, « non sono sicuramente nuove né personali »¹⁰⁰, ed indica in Sainte-Claire Deville il suo ispiratore principale. L'interpretazione dei modelli usati dal chimico quali utili strumenti organizzativi dell'esperienza ai quali non bisogna attribuire un valore reale era consolidata nella chimica francese ed operante, ad esempio, nella teoria di tipi di Laurent, nella polemica di Gerhardt contro il « pregiudizio » che le formule chimiche siano capaci di esprimere la costituzione molecolare dei corpi¹⁰¹, e anche Berthelot, che Duhem ignora per amor di polemica, non era certo stato meno deciso di Sainte-Claire Deville nel condannare un'interpretazione realista del linguaggio atomistico, come si è detto, e proprio per evitare questa possibile interpretazione usò di preferenza il linguaggio dei pesi equivalenti: « Ricordiamo — scriveva Berthelot nel 1881 — che questi linguaggi differenti, applicati alla rappresentazione delle reazioni chimiche, esprimono esattamente gli stessi fatti e le stesse leggi, cioè gli stessi rapporti generali constatati per mezzo dell'osservazione tra i fenomeni. Il fondo positivo della scienza rimane dunque esattamente lo stesso; le scoperte originali, passate o future, risultano dall'appercezione originale delle stesse idee e le leggi sono espresse in forme parallele, e quasi con lo stesso numero di parole nelle due notazioni. Ci vuole dell'intolleranza, ed anche un'errata comprensione della scienza, a pretendere d'attribuire all'una o all'altra valore esclusivo. Noi non ignoriamo che il sistema atomico ha delle pretese più alte; vorrebbe cogliere il fondo stesso delle cose e fondare l'intera scienza sulla concezione che esso immagina. Ma è precisamente questo che, per noi, costituisce il vantaggio del linguaggio degli equivalenti e l'illusione dei partigiani della teoria atomica. In effetti, il primo linguaggio non esclude alcuna ipotesi, ma distingue ciò che la seconda teoria confonde, e cioè: da una parte le leggi generali e positive

¹⁰⁰ Duhem, 1892 b, p. 453.

¹⁰¹ Cfr. Laurent, 1854; Grimaux, 1900; Kapoor, 1969; Brooke, 1975.

della scienza, considerate nelle loro espressioni astratte e certe, e dall'altra parte le ipotesi rappresentative, piú o meno arbitrarie, con l'aiuto delle quali ci si sforza di tradurre queste leggi »¹⁰². Già abbiamo citato la relazione di Cornu e Lemoine sul problema dell'insegnamento chimico all'*École Polytechnique* che si concludeva con un invito a considerare linguaggio degli equivalenti e linguaggio degli atomi appunto come due linguaggi, piú o meno utili e piú o meno semplici.

Non era nuova, dunque, l'interpretazione strumentalista della notazione atomista in chimica e Duhem si riallaccia a questa tradizione per sostenere la propria epistemologia. L'esempio della chimica conserverà un ruolo privilegiato e questo primo articolo di circa sessanta pagine verrà successivamente ampliato, soprattutto nella parte relativa all'antichità, pur mantenendo inalterata la struttura portante, fino a divenire uno dei libri piú famosi di Duhem, *Le mixte et la combination chimique* (1902), a conferma di un nesso strettissimo tra convenzionalismo e chimica che la storiografia ha sempre ignorato.

Il secondo aspetto interessante dell'articolo è rappresentato dal suo taglio storico. L'interesse per la storia della scienza si era già manifestato episodicamente in precedenza, almeno dal 1888¹⁰³, ma nel 1892 esso divenne ben piú sistematico. In quest'anno Duhem oltre che pubblicare *Notation atomique...*, lavorò alla *Introduction à la mécanique chimique* che uscì nel 1893 ma che fu terminata nel settembre del 1892. La storia in questo libro viene presentata con funzioni didattiche, come uno dei metodi di esposizione possibili di una teoria:

Per sottolineare il legame delle diverse verità che costituiscono una teoria, due sono i metodi possibili. Uno, il piú perfetto in sé, consiste nel presentare questo legame nell'ordine logico, partendo dai principi e dalle ipotesi e seguendo le lunghe e minuziose deduzioni fino a pervenire alle conclusioni. Questo metodo, applicato alla meccanica chimica, esige l'impiego continuo dell'analisi matematica... L'altro metodo consiste nell'espore le verità nel loro ordine di invenzione; si comprende meglio il contenuto di una legge quando si sa attraverso quali sforzi essa è stata costruita, quali errori si sono dovuti scartare per poterla portare alla luce. È questo il metodo che abbiamo adottato¹⁰⁴.

Nel testo l'intento didattico è però travalicato: la storia serve a dimostrare alcune tesi teoriche ed epistemologiche. Scopo fondamentale

¹⁰² Berthelot, 1881, cit. in Ranc, 1948, pp. 69-70.

¹⁰³ Duhem, 1888.

¹⁰⁴ Duhem, 1893 a, p. vi.

del libro appare con chiarezza quello di combattere le idee teoriche di Berthelot e mostrare che il succo di tutti gli sviluppi apparentemente slegati della meccanica chimica sta nella edificazione di una nuova meccanica, piú ampia ma strettamente analoga alla vecchia meccanica razionale, cosí come in *Notation atomique...* la storia della chimica serviva a dimostrare l'esattezza di una concezione strumentalista delle teorie. Con le sue prime indagini storiche Duhem non faceva altro che fornire un sostegno di tipo storico alle nozioni teoriche e alle convinzioni metodologiche che avevano sorretto tutta la sua opera giovanile di scienziato. La storia della scienza nasceva indissolubilmente intrecciata con la ricerca concreta e l'epistemologia.

7. - LE PRIME DISCUSSIONI EPISTEMOLOGICHE.

La reazione piú ampia ma anche piú decisa a questi primi lavori epistemologici di Duhem venne dall'ambiente neotomista. Il rapporto tra Duhem, il neotomismo e la problematica religiosa sar  esaminato nei dettagli piú avanti; per ora basti dire che questa polemica spinse Duhem a chiarire un presupposto fondamentale della sua impostazione filosofica: la netta distinzione tra fisica e metafisica. Con questa distinzione Duhem intendeva, in linea con larga parte della cultura europea di fine secolo, e francese in particolare, risolvere il problema della compatibilit  tra scienza e religione separando i due rispettivi oggetti. Il pensiero tomista, da poco riportato in auge da Leone XIII mirava invece, ovviamente, ad una armonizzazione delle due sfere e si opponeva ad ogni tentativo di trovare un accordo che fosse fondato sulla drastica suddivisione tra teologia e scienze della natura.

Dapprima il problema fu affrontato da Duhem di scorcio nell'articolo del 1893 *Une nouvelle théorie du monde inorganique*, in polemica con il teologo Leray che, con due libri¹⁰⁵ di un certo successo, aveva sostenuto una concezione neocartesiana della materia. Duhem, con grande sfoggio di cultura storica, che per  sembra trovare soccorso prevalentemente in un libro¹⁰⁶ da poco pubblicato da un altro fisico cattolico, Paul Mansion, si preoccupa, tra l'altro, di dimostrare che tutti i piú grandi fisici hanno sempre pensato che, in quanto fisici, il loro compito si do-

¹⁰⁵ Leray, 1885 e 1892.

¹⁰⁶ Mansion, 1893.

vesse limitare ad assumere l'azione a distanza come ipotesi teorica e che la ricerca delle cause di tale azione esulasse dal terreno propriamente scientifico.

La demarcazione tra fisica e metafisica fu l'oggetto principale dell'articolo, sempre del 1893, *Physique et métaphysique*, scritto in polemica con il neotomista Vicaire, il quale gli aveva rimproverato¹⁰⁷ che riducendo la teoria a strumento di classificazione, quindi separando fisica e metafisica, si faceva il gioco dello scetticismo e del positivismo. La distinzione tra fisica e metafisica, sostiene Duhem, non sta nella natura delle cose, ma dipende solamente dalla natura della nostra intelligenza.

Un'intelligenza che avesse la visione diretta, intuitiva dell'essenza delle cose — tale è, secondo l'insegnamento dei teologi, un'intelligenza angelica — non farebbe distinzione tra fisica e metafisica... L'intelligenza dell'uomo non ha la conoscenza diretta, la visione immediata dell'essenza delle cose esteriori; ciò che noi conosciamo direttamente di queste cose sono i fenomeni di cui esse sono la sede e la successione di questi fenomeni. Dalla conoscenza dei fenomeni, noi possiamo trarre una certa conoscenza delle cose stesse, perché esse sono le cause efficienti di questi fenomeni e perché la conoscenza di un effetto ci fornisce certe informazioni sulla sostanza che causa questo effetto, senza tuttavia darci una conoscenza piena e adeguata di questa sostanza¹⁰⁸.

Tutti i grandi fisici hanno mantenuto la distinzione tra fisica e metafisica ben ferma. Qui Duhem, contraddicendo i giudizi dati in lavori precedenti, pone tra i fisici che hanno mantenuto un prudente e corretto atteggiamento lo stesso Laplace (del quale, forse non a caso, ha appena rievocato le celebri parole sulla differenza tra la scienza dell'uomo e quella di una intelligenza superiore). Non solo, ma appoggiandosi ad una citazione tratta da Mansion, recupera anche San Tommaso e la « sana e prudente » tradizione scolastica alle proprie posizioni¹⁰⁹. Tommaso aveva opportunamente dato alla astronomia matematica il compito di « salvare i fenomeni », distinguendola dalla cosmologia. Da questo spunto nascerà poi l'asse portante del testo duhemiano più « scandaloso », ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ del 1908, ma per ora il riferimento a Tommaso pare un po' casuale ed estrinseco.

La separazione tra scienza e metafisica, quindi tra scienza e religione era un tema già molto diffuso nella cultura francese polemica con il po-

¹⁰⁷ Vicaire, 1893.

¹⁰⁸ Duhem, 1893 c, p. 57.

¹⁰⁹ *Ibid.*, p. 82.

sitivismo ed anche in Duhem tale separazione è mantenuta esplicitamente contro la pretesa totalizzante dello scientismo positivista: « Se voi non stabilite una separazione radicale tra la fisica e la metafisica, se voi le confondete, siete tenuti a riconoscere che il metodo fisico è buono anche in metafisica; questo significa portare acqua al mulino del positivista »¹¹⁰.

Il problema dei rapporti tra scienza e religione, la battaglia con lo scientismo positivista fu sempre un tema vivamente presente in Duhem e questo articolo rappresenta la sua prima presa di posizione pubblica. Tuttavia, una volta tenuto ben presente che tra le tematiche di questi anni decisivi vi fu anche quella della questione religiosa, si può rinviare l'esame di quest'ultima piú avanti e sottolineare invece subito una fondamentale conseguenza di ordine metodologico che Duhem trae dalla distinzione tra fisica e metafisica. Proprio perché una conoscenza delle cause a partire dagli effetti non sarà mai completa, i sistemi metafisici edificati dall'uomo saranno sempre ipotetici. Ciò non deve però preoccupare la fisica perché, per sua fortuna, essa non ha alcun bisogno dell'appoggio della metafisica in quanto, e questa è una affermazione decisiva nell'impianto filosofico di Duhem, essa riposa su un metodo sperimentale che è in sé evidente. Le nozioni e i principi implicati nel metodo sperimentale « appaiono alla nostra intelligenza sufficientemente certi, sufficientemente distinti perché noi possiamo senza timore di confusioni o di errori, metterli in opera con il metodo sperimentale »¹¹¹.

Può apparire sorprendente che queste righe siano state scritte da colui che, giustamente, è considerato uno dei piú sottili critici della metodologia scientifica: qui si sostiene che il metodo scientifico poggia su principi autoevidenti! Il fatto è che per Duhem tutte le piú raffinate critiche epistemologiche non investono dei presupposti importantissimi senza i quali l'attività scientifica non avrebbe senso. Noi abbiamo un patrimonio di certezze quasi istintive indipendenti da ogni riflessione critica che eliminano a priori ogni pericolo di cadere nello scetticismo:

Al di fuori di ogni ricerca metafisica noi abbiamo la nozione di corpo, la nozione di legge, in un modo abbastanza distinto da poter fare un legittimo uso di queste nozioni in tutte le ricerche della fisica; al di fuori di ogni ricerca metafisica, noi sappiamo che tutti i fenomeni di cui la materia è sede sono soggetti a leggi fisse, e la certezza di questo principio è tale che noi possiamo, senza esitazione, consacrare la nostra vita alla ricerca di queste leggi ... È il metafisico che deve mostrare-

¹¹⁰ *Ibid.*, p. 71.

¹¹¹ *Ibid.*, pp. 63-68.

che i fondamenti del metodo sperimentale sono solidi, il fisico è tenuto ad ammettere questa verità come evidente ¹¹².

Per la prima volta si presenta una nozione che costituirà un asse portante dell'impalcatura metodologica duhemiana: la categoria del « buon senso ». Si vedrà che la precisazione di questa categoria, apparentemente facile, presenta il rischio di clamorosi fraintendimenti, che i critici di Duhem non hanno sempre evitato. Ma sin d'ora occorre sottolineare che essa gioca un ruolo di capitale importanza: dopo aver sostenuto la natura astratta e strumentale delle teorie scientifiche e la netta distinzione tra fisica e metafisica, Duhem passò, ancora nel 1893 ¹¹³, in occasione della traduzione in francese delle conferenze e dei discorsi scientifici di Lord Kelvin, all'attacco diretto contro la scuola inglese e il suo sostenitore Poincaré, e quest'attacco si fondava, in ultima analisi, su una categoria del buon senso.

Come poteva uno strumentalista condannare l'uso di strumenti alternativi, purché funzionanti? Si è già visto che in *L'école anglaise et les théories physiques* Duhem poté rigettare la fisica anglosassone solo introducendo la nozione di « classificazione naturale ». Ora, il percorso duhemiano sin qui seguito ci illumina sull'origine di questa nozione: essa è una di quelle idee patrimonio del buon senso che è inutile cercare di fondare. Che un'unica teoria coerente sia meglio di più teorie inconciliabili « è una verità che tutti ammettono senza che ci sia bisogno di commentarla; coloro stessi che, come i fisici inglesi o i loro imitatori accettano volentieri teorie contraddittorie... preferiscono tuttavia una teoria unica quando vedono facilmente il modo di costruirla; questa verità ci fornisce un esempio di quei principi chiari ed evidenti di per se stessi su cui riposa... l'impiego del metodo sperimentale » ¹¹⁴. Un'altra certezza condivisa da tutti è che le relazioni tra le sostanze materiali non sono « né indeterminate né contraddittorie », perciò di fronte a una teoria fisica che propone due teorie inconciliabili « noi siamo sicuri che la classificazione che una tale teoria fisica ci propone non è conforme all'ordine naturale delle leggi... facendo sparire l'incoerenza noi avremo qualche possibilità di avvicinarla a quell'ordine, di renderla più naturale e, pertanto, più perfetta » ¹¹⁵.

¹¹² *Ibid.*, p. 63.

¹¹³ Duhem, 1893 d.

¹¹⁴ *Ibid.*, p. 368.

¹¹⁵ *Ibid.*, pp. 369-70.

Nel 1893 Duhem sembra dibattersi tra esigenze contrapposte. Tutta la sua opera precedente in chimica aveva suggerito l'idea di teorie quali classificazioni, ma quest'idea poteva essere un'arma a doppio taglio, volta a favore della teoria di Maxwell, a favore dello strumentalismo piú radicale. La distinzione tra fisica e metafisica pareva un potente argomento contro lo scientismo positivista, ma essa correva il rischio di lasciare la fisica senza una base cui demandare la fondazione delle proprie modalità di conoscenza, di farla cadere nello scetticismo. Entrambe le contraddittorie situazioni sono risolte con un appello a verità autoevidenti, condivise da tutti e perciò non problematiche. Di fronte al convenzionalismo di Poincaré, mentore della fisica anglosassone, di fronte al dogmatismo dei neotomisti che pretendono di fondare la fisica sulla metafisica, Duhem si rifugia in un appello al buon senso, avendo naturalmente pur sempre alle spalle, la forza del modello offertogli dalla termodinamica applicata alla chimica.

La soluzione era evidentemente poco soddisfacente (sebbene i piú raffinati epistemologi attuali sembrano condividerla)¹¹⁶, anche perché nel 1892 Hertz aveva pubblicato *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* in cui annunciava di aver dato la prova sperimentale della validità della concezione elettromagnetica della luce di Maxwell. Di fronte a questo nuovo, importantissimo evento le critiche che Duhem aveva rivolto a Maxwell nelle *Leçons sur l'électricité et le magnétisme* risultavano insufficienti, né il contributo di Hertz era stato discusso in *L'école anglaise...* Occorreva riprendere in considerazione le teorie ottiche e il loro sviluppo culminato nel lavoro di Hertz per cercare di reinterpretarle alla luce delle convinzioni teoriche ed epistemologiche già espresse. Ma la reinterpretazione di un fondamentale lavoro sperimentale quale quello di Hertz, che dal punto di vista strettamente teorico fu compiuta da Duhem in un lavoro comparso nel 1895¹¹⁷, poneva in evidenza la necessità di approfondire quel discorso sulla natura della fisica sperimentale che fino ad allora Duhem aveva sempre ritenuto

¹¹⁶ Lakatos affronta un problema simile a quello affrontato da Duhem nella sua lotta alla fisica inglese: perché non dobbiamo accontentarci di programmi di ricerca contenenti una contraddizione? La sua risposta è sorprendentemente simile a quella data da Duhem: perché accettando la contraddizione rinunceremo a costruire una teoria vera (Lakatos, 1976 a, pp. 219-220). A differenza di Duhem, però, Lakatos non sembra affatto preoccuparsi di mettere d'accordo questa affermazione decisamente realista con il resto della propria epistemologia che esclude di poter parlare di « verisimilitudine » delle teorie in senso abituale.

¹¹⁷ Duhem, 1895 a.

scarsamente interessante. La storia recente delle teorie ottiche, assai piú della chimica, poneva in luce quale interconnessione profonda esiste tra teoria ed esperienza, tra fisica teorica e fisica sperimentale. La riflessione sulle recenti teorie della luce spinse Duhem ad attaccare la roccaforte dell'induttivismo, dell'empirismo, del positivismo: la nozione di fatto d'esperienza.

Nel 1894 Duhem pubblicò infatti due fondamentali lavori: nel primo, *Les théories de l'optique*, affrontava il problema delle teorie della luce ed annunciava per la prima volta la sua celeberrima critica all'«esperimento cruciale», nel secondo, *Quelques réflexions au sujet de la physique expérimentale*, discuteva in modo dettagliato la natura della sperimentazione in fisica.

La storia delle teorie dell'ottica dell'ottocento, ma anche di quelle dei secoli precedenti, mostra, a parere di Duhem, che tutti i tentativi compiuti di costruire qualche rappresentazione concreta, qualche spiegazione modellistica delle leggi sperimentali e della loro traduzione in simboli matematici si sono sempre rivelati vani nel giro di pochi anni. Ciò che l'immaginazione, ciò che l'ansia di rappresentazione aggiunge all'esperienza è sempre criticabile. Così ad esempio nel 1891 Otto Wiener aveva prodotto un'esperienza « cruciale » per respingere l'ipotesi di Mac Cullagh e di F.-E. Neumann che la vibrazione dell'etere prodotta da un raggio di luce polarizzata avviene lungo il piano di polarizzazione, ma Poincaré aveva subito dato una differente interpretazione della sua esperienza¹¹⁸.

Ciò che l'esperienza di Wiener condanna — commenta Duhem — non è l'ipotesi particolare che la vibrazione è parallela al piano di polarizzazione; quello che essa condanna è l'insieme di ipotesi che costituiscono la teoria di Mac Cullagh e Neumann; essa ci insegna che questo insieme è in disaccordo con i fatti, ci costringe ad abbandonare qualcosa di esso, ma non ci dice ciò che occorre cambiare; noi possiamo, per esempio, rinunciare a mettere la traiettoria della molecola d'etere nel piano di polarizzazione del raggio, ma possiamo anche lasciare la molecola d'etere vibrare nel piano di polarizzazione, a patto di cambiare qualche altra ipotesi della teoria, per esempio l'ipotesi che precisa il senso meccanico attribuito alla intensità luminosa; è questo quanto ha mostrato molto bene Poincaré. Questa non è del resto una particolarità dell'esperienza realizzata da Wiener, è un carattere generale del metodo sperimentale; non è mai possibile sottoporre al controllo dell'esperienza un'ipotesi isolata, ma solo l'insieme delle ipotesi — e, in generale, esse sono

¹¹⁸ Sulle vicende delle teorie dell'etere ottico e elettromagnetico nell'Ottocento. cfr. Whittaker, 1951-53; Schaffner, 1972; Buchwald, 1980.

innumerevoli — che costituiscono una teoria; se l'esperienza contraddice le previsioni di un teorico, mai essa condanna nettamente una delle sue ipotesi, ma soltanto l'intero sistema delle sue supposizioni, gli ingiunge di cambiare qualcosa in questo sistema, non gli dice cosa cambiare; in una parola, l'*experimentum crucis* tale quale lo immagina la filosofia baconiana, è impossibile in fisica ¹¹⁹.

Anche le esperienze di Hertz non costituiscono una prova decisiva, cruciale delle concezioni maxwelliane circa la natura della luce:

Oggi si può dire che la legge seguente, se non è definitivamente acquisita dalla fisica, almeno è ben vicina all'esserlo: nell'etere le correnti di spostamento si propagano con una velocità finita che è la stessa velocità della luce ... Da questa coincidenza, che, a rigore, potrebbe essere fortuita, all'ipotesi che la luce consiste in correnti di spostamento variabili periodicamente con rapidità vi è un abisso logico ¹²⁰.

Come tutte le rappresentazioni, anche quella elettromagnetica della luce è destinata a cadere in quanto non essenziale per lasciare il posto a ciò che realmente conta in fisica, le leggi sperimentali e le equazioni matematiche. Questa è la lezione profonda della storia delle teorie ottiche, lezione che la termodinamica già conosceva.

Le ipotesi meccaniche sono scomparse, eliminate dalle contraddizioni dell'esperienza o levate dal torrente che spiana da tre secoli i sistemi metafisici; ma la fisica matematica è rimasta; la rappresentazione del mondo materiale che ogni teorico costruisce è l'impalcatura che gli permette di scolpire una nuova figura del tempio della scienza; levata l'impalcatura i nostri occhi contemplano meglio l'opera dell'artista e l'armonioso legame che la collega all'opera dei suoi predecessori ¹²¹.

L'ineliminabile componente teorica presente in ogni osservazione fisica è al centro del secondo articolo del 1894 ¹²². Questo articolo sarà ripreso alla lettera in modo da formare le parti epistemologiche più rilevanti della *Théorie physique*: i paragrafi 1, 2 e 3 del secondo capitolo, i paragrafi 1, 2, 3, 4, 5, del quinto capitolo, e i paragrafi 1, 2, 3, e 6 del sesto capitolo della seconda parte del libro.

Tutte le tesi epistemologiche che fanno della *Théorie* il capolavoro della critica all'induttivismo sono presenti in forma chiarissima e, per quel che riguarda il pensiero di Duhem, defini-

¹¹⁹ Duhem, 1894 a, p. 112.

¹²⁰ *Ibid.*, pp. 119-20.

¹²¹ *Ibid.*, pp. 124-5.

¹²² Duhem, 1894 b.

tiva: ogni esperienza fisica non è una osservazione, è una interpretazione; l'uso di uno strumento qualsiasi implica il riferimento esplicito o implicito alle teorie che ne regolano il funzionamento, perciò « l'enunciato del risultato di un'esperienza implica, in generale, un atto di fede nell'esattezza di tutto un insieme di teorie; un'esperienza non può mai condannare un'ipotesi isolata »; l'*experimentum crucis* non è possibile in fisica; il risultato di un'esperienza è un giudizio astratto e simbolico; ogni esperienza fisica è sempre approssimata e la correzione degli errori si fa ricorrendo a una teoria; le leggi sono relazioni simboliche, non semplici astrazioni induttive; una legge non è né vera né falsa, è solo approssimata. In questa requisitoria di 53 pagine Duhem formula l'atto d'accusa più lucido, impietoso ed efficace contro ogni empirismo dogmatico, contro ogni pretesa di poggiare le teorie scientifiche su una base non teorica, su qualche terreno vergine da preconetti teorici, che sia dato di leggere in un testo di fine secolo. Era l'attacco al cuore del positivismo, il culmine di quell'elogio delle teorie che Duhem nei suoi lavori aveva cominciato a svolgere partendo dal lato della teoria e che si concludeva in crescendo sul versante dell'osservazione. La precisazione della portata di questo assalto, del tipo di empirismo che esso configurava sarà compiuta nel prossimo capitolo, ma è fin d'ora evidente che con esso diveniva ancor più radicale la differenza tra la posizione di Duhem e quella di tutta la corrente di critica al meccanicismo ispirata al fenomenismo. Quello che per questa corrente era il giudice delle teorie, l'esperienza fattuale, diviene in Duhem l'imputato che solo grazie al giudizio teorico diviene degno di entrare a far parte del discorso scientifico. La teoria ha sicuramente come scopo quello di « salvare i fenomeni », ma i fenomeni, a loro volta, assumono un significato solo in grazie di una teoria.

Con questo articolo del 1894 la posizione epistemologica di Duhem risulta delineata con grande chiarezza. In alcuni punti essa verrà parzialmente rivista, ma non saranno gli eventi scientifici di fine secolo a indurre questo rimodellamento (come accadde per Poincaré), saranno invece gli studi di Duhem di storia della scienza. Questi studi assumeranno importanza veramente di primo piano solo nel novecento, ma già nel 1894 si intravede quello che è il problema di fondo che in Duhem pone il rapporto tra epistemologia e storia, e nel 1896¹²³ compare già la sua

¹²³ Duhem, 1896. Questo testo teneva conto sia dello studio delle vicende dell'ottica compiuto in Duhem, 1894 a, che di quello sulla storia delle teorie del calore svolto in Duhem, 1895 b.

soluzione definitiva: se l'epistemologia sostiene la libertà di scelta delle ipotesi da porre a fondamento di una teoria, come è possibile sostenere una concezione continuista della storia, parlare del « filo di una tradizione, di un progresso continuo lento ma ininterrotto »¹²⁴? Se la scelta è effettivamente libera, è ammissibile e anche probabile un progresso che avviene per fratture, rivoluzioni. La stessa termodinamica non è forse una rottura con tre secoli di tradizione meccanicista? « Ciò che stupisce — scriverà di lì a poco Abel Rey in *L'Énergetique et le mécanisme* — quando si riflette sul valore della teoria energetica è che essa rompe con il cammino ordinario della scienza. L'energetica non tiene in alcun conto l'unità storica dello sviluppo scientifico »¹²⁵.

La risposta di Duhem a questo problema data fino al 1894 è solo parziale: le teorie sono sí strumenti di classificazione, ma tendono verso una classificazione naturale, quindi verso l'unitarietà. Ogni avanzamento reale della fisica si risolve in un aumento della unità della immagine del mondo che la scienza ci offre. La termodinamica persegue coscientemente l'obiettivo del massimo dell'unitarietà, cercando la piú stretta analogia con la meccanica razionale e rifiutando tutte quelle teorie, come la fisica anglosassone, che invece rompono i ponti con la tradizione precedente. Ma che dire dei meccanicisti come Kelvin e Maxwell che, agli occhi di Duhem, non tengono in nessun conto l'unitarietà della fisica e pure, indubbiamente, qualche contributo riescono a darlo comunque? Come, seguendo quello che per Duhem è uno strumentalismo senza freni, privo di preoccupazioni conoscitive, si possono produrre elementi che servono a formare il vasto mosaico della teoria che si approssima alla classificazione naturale? Come è accaduto che tre secoli di fisica prevalentemente meccanicista abbiano prodotto tanta buona fisica?

La risposta a questo interrogativo venne data in un articolo del 1896, un'ulteriore riflessione sulla fisica inglese: *L'évolution des théories physiques du XVII^e siècle jusqu'à nos jours*. Gli scienziati meccanicisti, sostiene Duhem, hanno contribuito al progresso scientifico inconsciamente in quanto guidati, per ciò che di positivo contiene la loro opera, dalla volontà divina! Il lavoro di questi ultimi tre secoli — concede Duhem a Cartesio e a Laplace! — non è stato inutile; « non che questa opera sia servita sempre a ciò cui il suo autore l'aveva destinata; il ruolo che essa

¹²⁴ Duhem, 1894 a, p. 123.

¹²⁵ Rey, 1907 b, p. 45.

gioca nella scienza d'oggi differisce spesso dal ruolo che [il pensiero umano] le attribuiva; essa ha preso il posto che le aveva assegnato in anticipo Colui che tutta regge questa agitazione »¹²⁶.

Nel 1905 Duhem riprenderà¹²⁷ con estrema chiarezza l'idea di un dio che regge le sorti della storia della scienza presentandola come il prodotto quasi inevitabile di uno spassionato studio della storia della scienza antica e medioevale. In realtà quest'idea era già presente dieci anni prima, quando ancora Duhem considerava antichità e medioevo periodi poco interessanti per lo scienziato, quando ancora non aveva neppure iniziato ricerche storiografiche sistematiche ed approfondite quali quelle che lo hanno reso giustamente famoso. Fidandosi delle parole di Duhem del 1905 si corre il rischio di valutare l'idea di dio architetto della storia della scienza una aggiunta ideologica estrinseca all'impianto complessivo duhemiano, ma non è così perché questa idea intervenne prestissimo per risolvere uno spinosissimo problema posto dall'interazione tra storia della scienza ed epistemologia.

L'idea di classificazione naturale e l'idea di un dio che presiede l'opera secolare degli scienziati, naturalmente legate l'una all'altra in quanto è l'azione di Dio che fa confluire i contributi più disparati verso la costruzione di una classificazione naturale, non furono aggiunte posteriori, estrinseche al nucleo originario del pensiero duhemiano ma furono presenti fin dai suoi primi lavori e svolsero una funzione decisiva nella battaglia per una fisica unitaria e continuista contro la nuova fisica inglese antiunitaria e fratturista. Solo accogliendo queste due nozioni Duhem poteva sperare di riuscire a porre un argine alla marea dello scetticismo strumentalista che montava di giorno in giorno.

8. - PRIME CONCLUSIONI.

Nel 1896 gli elementi fondamentali dell'epistemologia duhemiana, e dell'apparato filosofico necessario a sorreggerla, erano ormai già ben formati. Le successive modificazioni saranno il frutto soprattutto dello studio della storia della scienza, ma non toccheranno quello che oggi è

¹²⁶ Duhem, 1896, p. 499.

¹²⁷ Duhem, 1905-6.

considerato l'aspetto piú vitale e piú storicamente rilevante del pensiero di Duhem; piuttosto riguarderanno problemi che si è tentati di classificare come « ideologici ». L'analisi dettagliata dell'epistemologia duhemiana, del lavoro storiografico, della collocazione di Duhem nell'orizzonte della cultura europea a cavallo del secolo saranno l'oggetto dei prossimi capitoli. Già adesso, però, mi pare si possano trarre alcune prime conclusioni dall'analisi compiuta dell'origine dell'epistemologia duhemiana.

Gli ultimi anni del secolo scorso sono tanto spesso considerati anni di crisi della razionalità scientifica. Moltissimo è stato scritto sulla « crisi della ragione » che ha investito la cultura europea trovando un appoggio, una base di lancio negli sviluppi della scienza. Orbene, in Duhem è totalmente assente questa tematica della crisi.

Tutta la riflessione e il concreto lavoro scientifico di Duhem manifestano, al contrario, la convinzione che la scienza negli ultimi anni dell'Ottocento stia attraversando un periodo di grande fulgore, addirittura che essa stia liberandosi dagli errori che l'avevano accompagnata nel corso degli ultimi tre secoli! La sua critica al meccanicismo non investe mai la bontà della teoria meccanica nella sua veste di teoria fisico-matematica, ma sempre e soltanto i tentativi fatti di estenderla in un ambito non scientifico, metafisico. Soprattutto la sua critica al meccanicismo si regge sulla fondamentale constatazione dell'esistenza di una teoria migliore, la termodinamica generalizzata. Sono in primo luogo i successi della termodinamica ad imporre la necessità di costruire una nuova meccanica, non i difetti di quella vecchia. Grazie alla nuova meccanica i sogni dei meccanicisti piú arditi, come Berthollet, sembrano finalmente sul punto di avverarsi. La nuova meccanica non rigetta la meccanica classica: assumendola come modello, sia per il rigore che per il metodo (quello di Newton, ovviamente, non quello di Cartesio) e per la forma da dare ai propri principi, essa la amplia, la generalizza, le si pone accanto non contro, seguendo l'originario programma dell'energetica formulato da Rankine e proseguito dal meccanicista Thomson, quando ancora non era divenuto modellista. Gli sviluppi della scienza ottocentesca confermano per Duhem, su altre basi, la fiducia propria del positivismo in un continuo progresso della conoscenza scientifica: « Molti sentono oggi passare su di loro un vento di scetticismo », ma coloro che si sforzano di scoprire nella storia della scienza « il filo d'una tradizione, di un progresso lento ma ininterrotto » vedono « che una teoria che scompare non scompare mai

del tutto »¹²⁸. Non è la crisi della scienza, sono i suoi successi che impongono a Duhem la necessità di una riflessione epistemologica.

Questo è un dato storiografico su cui certa storia letteraria sulla « crisi della ragione » dovrebbe riflettere: se per parlare dello stato della scienza alla fine dell'ottocento anziché andare a leggere Nietzsche, o Bergson, o Brunetière si va a studiare uno scienziato come Duhem si incontreranno testi sicuramente meno brillanti e più ostici, ma assai più significativi agli effetti del problema in discussione.

La seconda conclusione che si può trarre riguarda le origini storiche del convenzionalismo. Se si assume Poincaré quale più tipico rappresentante del convenzionalismo (come sempre si è fatto) si corre il rischio di sopravvalutare il legame tra questo movimento di pensiero e i grandi mutamenti apportati nella scienza dalla fisica atomica, in quanto i vari problemi scaturiti dalla scoperta della radioattività pesarono moltissimo sul pensiero del grande matematico. Per Duhem, invece, risulta chiarissimo che la sua riflessione epistemologica era giunta a risultati maturi già nel 1894, prima ancora della semplice scoperta sperimentale della radioattività e non risulta in alcun modo collegata alle grandi rivoluzioni fisiche del novecento. Solo riferendosi unicamente alla *Théorie physique* del 1906 e ignorando che questa riespone tesi presenti nel pensiero di Duhem già nel 1894 si può porre un nesso del tutto gratuito tra epistemologia duhemiana e teorie fisiche del novecento, quale quello compiuto nella presentazione alla traduzione italiana della *Théorie* (« Pierre Duhem scrisse questo testo ormai classico nella fase culminante della cosiddetta 'crisi' della scienza, quando il crollo della tradizione meccanicista dell'ottocento apriva la strada a risultati rivoluzionari nella conoscenza del mondo fisico, e la relatività di Einstein e l'ipotesi dei quanta ponevano gli scienziati di fronte a nuovi aspetti di analisi e sintesi scientifica »)¹²⁹, oppure quello compiuto da De Broglie nella sua prefazione alla traduzione inglese (« Nello stesso anno in cui Duhem scri-

¹²⁸ Duhem, 1894 a, p. 123.

¹²⁹ Duhem, *La teoria fisica*, trad. it., Bologna 1978, retro di copertina. Non dissimilmente P. P. Wiener scriveva nella prefazione alla traduzione inglese (*The aim and structure of physical theory*, Princeton 1954): « La meccanica classica, la teoria elettromagnetica e la termodinamica che Duhem insegnava in Francia e esprimeva nei suoi molti lavori sistematici, stavano proprio per ricevere l'impatto della teoria della relatività speciale di Einstein quando questo libro fu scritto nel 1905 » (p. xv).

veva il suo libro Einstein introduceva nella scienza l'idea di 'quanto di luce' »)¹³⁰.

Spostare all'indietro di oltre un decennio l'atto di nascita dell'epistemologia duhemiana non significa soltanto fare opera di precisazione cronologica, significa soprattutto dimostrare che l'origine del convenzionalismo si radica nella cosiddetta « fisica classica » e, quindi, che quest'ultima aveva in sé tanti e tali problemi, aveva una complessità talmente multiforme da far scaturire dal proprio seno un grande rinnovamento delle prospettive metodologiche quale quello costituito dal pensiero convenzionalista. Il pensiero scientifico del novecento, per quanto innovativo e rivoluzionario, non venne certo a sconvolgere una scienza in espansione tranquilla e serena. Ogni tentativo di ridurre la storia della scienza da Newton all'inizio del novecento ad un'unico periodo « paradigmatico » dominato da un mitico « meccanicismo » messo poi in discussione dalle rivoluzioni novecentesche è ormai senza senso. Come si è visto nel capitolo precedente, la scienza nel settecento e nell'ottocento attraversò fasi assai diverse, assunse sembianze svariate, passò per momenti di difficoltà e incertezze, e il convenzionalismo fu il risultato finale di questo tumultuoso processo di crescita avvenuto sotto il segno del « proteiforme » pensiero newtoniano.

Una terza riflessione riguarda il ruolo svolto dalla chimica nella nascita del convenzionalismo. Sulla chimica ottocentesca pesa una sorta di maledizione: essa è considerata poco interessante dal punto di vista metodologico e studiata per lo più con interesse erudito. Da che Lavoisier ebbe compiuto la sua rivoluzione, fino a quando la fisica, all'inizio del novecento, non è intervenuta a porre su nuove basi la teoria atomica, la chimica sembra esser rimasta sospesa in un limbo privo di spessore culturale. Tutti riconoscono alla chimica dell'ottocento un valor pratico decisivo per la storia dell'umanità, pochi ne apprezzano la portata culturale e raramente essa viene presa in considerazione nelle storie che si preoccupano di affrontare con taglio filosofico la storia della scienza ottocentesca. Il caso storico di Duhem mostra invece quale grande rilevanza abbiano avuto gli sviluppi della teoria chimica quando venne fecondata dalla termodinamica per la costruzione di una epistemologia

¹³⁰ Duhem, *La teoria fisica*, trad. it. cit., p. xv.

e di una concezione della storia della scienza. Entrambi questi aspetti della concezione filosofica complessiva duhemiana trovano la loro radice nelle ricerche di termodinamica chimica. Sarebbe certo paradossale sostenere che l'iniziatore del convenzionalismo sia stato Henri Sainte-Claire Deville anziché Henri Poincaré, ma sarebbe anche un grave errore misconoscere il ruolo svolto nella nascita del convenzionalismo dalla diffidenza propria dei chimici positivisti francesi verso ogni materializzazione delle ipotesi teoriche, dalla loro interpretazione della teoria atomica quale utile linguaggio, che possono probabilmente esser fatte risalire alla uguaglianza di Condillac tra scienza e linguaggio ben costruito, fatta propria e resa tanto illustre da Lavoisier. La lettura delle opere di questi « oscuri » scienziati offrirebbe molto materiale di riflessione a coloro che tanto facilmente identificano la « razionalità classica » con l'obiettivazione delle ipotesi scientifiche (così come, naturalmente, offrirebbe analogo motivo di ripensamento una seria indagine sulla storia della fisica settecentesca e ottocentesca).

Infine, ma questa è una considerazione che si chiarirà nel prosieguo, anche se fin da adesso mi pare sufficientemente comprensibile, Duhem sviluppò la propria critica epistemologica in polemica aperta e diretta con quello che ai suoi occhi appariva la reincarnazione più moderna dello scetticismo. Questo convenzionalista che fornì un voluminoso arsenale a coloro che negarono alla scienza valore conoscitivo ebbe quale preoccupazione di fondo quella di salvare contro ogni assalto l'idea che la scienza non abbia un semplice valore pragmatico. Egli seppe spingere a fondo la critica ad ogni fondazione dogmatica dell'oggettività scientifica con una lucidità che non trova eguali tra i suoi contemporanei, ma, al contempo, fu sempre convinto che la critica della concezione positivista non dovesse significare la caduta nello strumentalismo. La nozione di « classificazione naturale » fu il segno lampante di questa preoccupazione e il ruolo fondamentale da essa svolto nella battaglia contro la fisica inglese non lascia dubbi circa il valore che Duhem le attribuiva. Chiarire nei dettagli in qual modo Duhem tentò di conciliare i risultati di un impietosa analisi epistemologica con la fiducia nel valore conoscitivo della scienza è il compito che si propongono i capitoli che seguono.

CAPITOLO TERZO
L'EPISTEMOLOGIA DI DUHEM

1. - ALLE ORIGINI DELLA « THÉORIE PHYSIQUE »: SCIENZA E FILOSOFIA
IN FRANCIA FINO AL 1906.

La posizione epistemologica di Duhem è condensata nel suo libro piú famoso, *La théorie physique* del 1906, che riunisce una serie di articoli comparsi (in parte) sulla *Revue de philosophie* tra il 1904 e il 1905. Questo libro, divenuto ormai celeberrimo e che anche gli studiosi piú seri hanno considerato esaustivo della critica epistemologica duhemiana, contiene solo poche, ma importanti, idee che già non erano state espresse negli anni 1892-1894. Nell'esaminare il pensiero di Duhem farò anch'io riferimento alla *Théorie*, ove le note sparse in vari articoli furono riunite ed organizzate, perché assai piú pesante sarebbe una esposizione delle tesi duhemiane che facesse riferimento alla loro primitiva apparizione. La genesi di queste idee è già stata tratteggiata del resto nel precedente capitolo, si tratta ora di esaminarle in forma sistematica e la *Théorie* si presta magnificamente a questo scopo. Prima di compiere questa disamina occorre però chiarire un problema che l'indagine fin qui condotta ci pone di fronte: come mai Duhem nel 1906 avvertì il bisogno di rappresentare sotto forma di un volume ponderoso idee che erano già vecchie di almeno un decennio? Se il contenuto concettuale del libro trova origine e giustificazione nelle linee di sviluppo storico che ho tracciato nel secondo capitolo, quale fu la congiuntura storica che occasionò la comparsa del « capolavoro » duhemiano? La risposta a questo interrogativo è di grande importanza perché a mio avviso essa getta una luce del tutto nuova rispetto alle interpretazioni che dell'epistemologia di Duhem sempre sono state date. In sintesi, mi pare si possa affermare che Duhem

nel 1906 riteneva di potere e di dovere sfoderare nuovamente le armi già usate una dozzina di anni prima per combattere avversari nuovi, rinnovati in parte e più agguerriti rispetto a quelli degli anni '90. Le proprie idee epistemologiche apparivano a Duhem ancora buone per ingaggiare una nuova battaglia: la battaglia contro il convenzionalismo strumentalista.

Nel 1906 la situazione della cultura francese legata a problematiche scientifiche era profondamente mutata rispetto a pochi anni prima. Il dibattito all'inizio degli anni '90 era incentrato su alcuni temi che costituivano l'eredità del pensiero propriamente ottocentesco. Oltre alla discussione sui caratteri della teoria elettromagnetica di Maxwell e sul modellismo inglese di cui si è già parlato, la cultura francese si impegnò sul problema della natura dello spazio collegato alla definitiva affermazione delle geometrie non euclidee, con interventi, oltre a quelli notissimi di Poincaré, di De Broglie, Lechalas, Mansion, Dunan¹ e di tanti altri. I primi lavori di Milhaud² estesero la critica nata sul terreno geometrico alla certezza di tutta la matematica e della stessa logica. Com'è ben noto questo dibattito ebbe un ruolo importantissimo nella formazione del convenzionalismo di Poincaré; non ebbe invece alcuna risonanza in Duhem. Anche il problema della natura e della misura del tempo suscitò molte attenzioni in Sorel, Renouvier, Poincaré, Lechalas³ e altri ancora. Interesse ancor maggiore incontrò l'ipotesi atomistica che, sulla scia della traduzione francese de *La matière et la physique moderne* di Stallo nel 1891, fu attaccata oltreché dai continuatori della tradizione positivista su questo tema (tra i quali lo stesso Duhem), da tomisti ortodossi come Bulliot o eterodossi come George Sorel, ma anche dallo stesso Poincaré, pur con molta prudenza⁴. Non ebbe invece una ampiezza paragonabile a quella avuta in ambiente tedesco la discussione sui principi della meccanica, che toccherà il suo culmine in Francia attorno al 1900: mentre nel 1883 era già comparsa, quale culmine di una discussione già prolungata nei paesi di lingua tedesca⁵, la *Mechanik* di Mach, in Francia,

¹ De Broglie, 1890; Lechalas, 1891 e 1896; Mansion, 1893; Dunan, 1895. I famosi articoli di Poincaré saranno poi ripubblicati in Poincaré, 1902.

² Milhaud, 1891 e 1894. Su Milhaud cfr. Goblot, 1920-21; Nadal, 1959.

³ Cfr. per gli estremi di questa discussione Sorel, 1892-93; Lechalas, 1893 b. Le riflessioni di Poincaré sul tempo furono poi ripubblicate in Poincaré, 1902.

⁴ Bulliot, 1891-92; Sorel, 1891-92; Poincaré, 1894.

⁵ Oltre ai celebri Mach, 1968 e Kirchhoff, 1874, il dibattito sulla meccanica nell'ambiente tedesco fu sostenuto ben prima della fine del secolo da altri impor-

un decennio dopo, si dovevano registrare solo pochi contributi (alcuni dei quali di dubbio valore) quali quelli di Pellis, Boussinesq, De Broglie, Mansion e Poincaré⁶.

Tutte queste discussioni convergevano verso un comune sbocco: la critica del dogmatismo positivista. Di contro a una concezione della scienza certa in quanto fondata da un lato sulla affidabilità indiscutibile dell'osservazione empirica, dall'altro lato sulla fiducia nel valore unificante universale degli schemi della meccanica, emerse una visione nuova dell'impresa scientifica nella quale l'attività formatrice, costruttrice del soggetto conoscente occupava un nuovo spazio e ricopriva nuove funzioni. Era la disfatta della concezione positivista della scienza che così si consumava e si imponevano nuove immagini della impresa scientifica, quali la « fisica dei principi » di Poincaré o la termodinamica generalizzata di Duhem, senza ancora suscitare tematiche catastrofiste sulla « crisi » della scienza e senza proporre di quest'ultima una decisa concezione strumentalista.

La filosofia, da parte sua, conduceva la propria battaglia contro il positivismo con il crescente successo del bergsonismo, con la nascita della filosofia dell'azione di Blondel, senza legarsi intimamente alla critica epistemologica. Neppure Boutroux con *De l'idée de loi naturelle dans la science et la philosophie contemporaines* andava al di là di un recupero episodico del più recente dibattito epistemologico, accentuando il proprio soggettivismo rispetto al testo del 1874, *La contingence des lois naturelles*. Il settore della ricerca filosofica più attento ai problemi scientifici fu quello tomista che produsse in quegli anni un gran numero di pubblicazioni apologetiche tendenti a mostrare il perfetto accordo tra scienza moderna, rettamente intesa, e dogmi religiosi: la *Apologie scientifique de la foi chrétienne* di Duilhé de Saint-Projet, la *Philosophie de la nature d'après S. Thomas* di Schneid, le *Conferences apologétiques* dell'abate Michel, *La science et le matérialisme* di Naville, *Les relations entre la Foi et la raison* dell'abate De Broglie e soprattutto *Les fondements intellectuelles de la Foi Chrétienne* di De Lapparent sono alcuni esempi.

tanti interventi come Jolly, 1852; Neumann, 1870; Dühring, 1873; Streinz, 1883; Volkman, 1886; Müller, 1886. Per quanto è a mia conoscenza questo dibattito non è ancora stato studiato.

⁶ Pellis, 1888; Boussinesq, 1873 e 1889; De Broglie, 1889-90; Mansion, 1893; di Poincaré cfr. Poincaré, 1893, oltre, naturalmente, la già ricordata interpretazione del meccanicismo maxwelliano.

Alla metà degli anni '90 la situazione cominciò a mutare, sia sul piano culturale che su quello propriamente scientifico. Nel 1895 esplose la celebre polemica sulla « bancarotta » della scienza, innescata dall'articolo di Brunetière *Après une visite au Vatican*⁷. La polemica non ebbe in realtà nulla a che fare con l'epistemologia, fu piuttosto il culmine della lotta tra pensiero religioso e positivismo materialista⁸. La bancarotta della scienza, per Brunetière⁹, non consiste affatto in una sconfitta sul terreno proprio delle teorie scientifiche (di cui, del resto, Brunetière non conosceva quasi nulla) ma piuttosto nella dimostrata incapacità a risolvere problemi che genuinamente scientifici non sono e che pure il pensiero laico totalizzante aveva caricato sulle spalle del pensiero scientifico:

Le scienze fisiche e naturali ci avevano promesso di sopprimere il « mistero ». Ora, non solo esse non l'hanno soppresso, ma noi vediamo chiaramente oggi che non lo chiariranno mai. Esse sono impotenti non dico a risolvere, ma a porre convenientemente le sole questioni che contano: quelle che riguardano l'origine dell'uomo, la legge della sua condotta e del suo futuro destino¹⁰.

Anche se non direttamente collegata al dibattito epistemologico, la discussione sulla bancarotta della scienza, che ebbe risonanza vastissima, contribuì a creare attorno alla problematica scientifica un clima rovente, a fare della discussione sulla scienza in Francia non una faccenda di pochi iniziati, ma una grande questione nazionale su cui si fronteggiavano difensori e avversari della repubblica laica. Henri Brisson, presidente della Camera dei Deputati, intervenendo ad un banchetto in onore di Berthelot, affermò che la disputa non era esoterica, ma configurava un vero e proprio attacco alla politica repubblicana, poiché la scienza era la base del repubblicanesimo e del libero pensiero¹¹.

⁷ Brunetière, 1859 a.

⁸ Su questo dibattito cfr. Paul, 1968. Gli interventi furono però assai più numerosi di quelli analizzati da Paul (Brunetière, 1895 a e 1895 b; Richet, 1895; Rauh, 1895; Darlu, 1895; D' Hulst, 1895; Berthelot, 1895; Morselli, 1895; Fouillée, 1896; ecc.). Pur non avendo fatto una ricerca sistematica ho trovato nel solo anno 1895 altri interventi da aggiungere a quelli studiati da Paul: Sidermann, 1895; Griveau, 1895; Denis, 1895.

⁹ Brunetière fu un personaggio di primissimo piano nella cultura francese del periodo. Autore di libri importanti come Brunetière, 1896a e 1896b, 1905, fu anche un prolificissimo polemista. Cfr. Brunetière, 1900-03 e 1907. Sulla sua opera cfr. Clark, 1954.

¹⁰ Brunetière, 1859 a, p. 99.

¹¹ Cit. in Virtanen, 1965, p. 38 e in Paul, 1968, p. 300.

In questo clima infuocato prendevano sempre piú piede le forme di pensiero antiscientifiche e irrazionaliste: « Dopo aver attraversato — diceva Fouillée in *Le mouvement idéaliste et la réaction contre la science positive* del 1896 — un periodo in cui, secondo le parole di Auguste Comte, l'intelligenza era in rivolta contro il cuore, noi entriamo in un altro periodo in cui il cuore è in rivolta contro l'intelligenza »¹².

Sul piano scientifico il mutamento piú rilevante fu costituito dalla nuova forza, un vigore destinato a crescere rapidamente in modo travolgente, con la quale fu riproposta la concezione atomistica, interpretata ora non piú soltanto come comodo linguaggio scelto convenzionalmente, ma come teoria imposta e dalla critica concettuale e, soprattutto, da nuovi e sconvolgenti risultati sperimentali. Nel 1895 venne pubblicato l'*Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine* di Hannequin che sosteneva l'indispensabilità di pensare il mondo in termini atomisti. Il lavoro ebbe eco vastissima e fu bene accolto persino in ambiente tomista¹³. Posizione simile a quella di Hannequin venne assunta da Mabileau nella *Histoire de la philosophie atomistique* pubblicata nello stesso anno. Sempre nel 1895 Brillouin in *Pour la matière* rispondeva polemicamente a *La déroute de l'atomisme contemporain* di Ostwald e Gouy in *Le mouvement brownien et les mouvements moléculaires* affermava il valore probante per le teorie cinetiche della materia del fenomeno del moto browniano. Il 1895 fu anche l'anno d'inizio di una serie di scoperte sperimentali sulle radiazioni nei tubi a gas rarefatto (raggi x), sulla radattività naturale (la « luce nera » di Le Bon, le radiazioni spontanee di Becquerel, la scoperta del radio dei Curie) e sulle proprietà delle particelle piú piccole dell'atomo piú piccolo, gli elettroni (misure di J. J. Thomson e di Perrin). L'interesse suscitato in Francia da queste nuove evidenze sperimentali in favore della ipotesi sulla struttura particellare della materia fu enorme: solo nel 1896 furono presentate alla *Académie* un centinaio di memorie sui raggi Roentgen, 14 sulla luce nera di Le Bon e 3 sulle radiazioni di Becquerel. Queste nuove scoperte non andarono disgiunte dal recupero di suggestioni provenienti dall'occultismo, rilanciarono la dimensione del mistero, servirono da base per il grande tema filosofico della « smaterializzazione della mate-

¹² Fouillée, 1896, p. v. Negli stessi termini si esprimevano in quegli stessi anni anche De Broglie, 1894; Brunetière, 1896 a; Eucken, 1897.

¹³ Cfr. Grosjean, 1896-7. Lo stesso Grosjean curerà la pubblicazione di Hannequin, 1908, premettendo un importante saggio biografico (Grosjean, 1908).

ria » di cui Gustave Le Bon fu il piú tenace e entusiasta sostenitore, ma al quale non fu insensibile lo stesso Poincaré¹⁴. Ma esse produssero anche rilevanti mutamenti nell'ambiente prettamente scientifico.

I ricercatori piú giovani si trovarono immersi in un clima nuovo, nel quale l'ipotesi della struttura discontinua della materia, quindi la correttezza dell'approccio *via* modelli atomici e, di riflesso, la teoria degli elettroni di Lorentz, sembravano ricevere di giorno in giorno conferme sempre piú convincenti: i piú validi rappresentanti delle nuove leve di fisici francesi, come Langevin e Perrin, si formarono sulle tematiche legate ai nuovi sviluppi sperimentali e si fecero protagonisti di una battaglia contro l'impostazione fenomenologica¹⁵. Nelle generazioni precedenti le piú recenti scoperte e l'emergere delle teorizzazioni ad esse connesse produssero un profondo ripensamento sui principi della fisica « classica » che ebbe come effetto la diffusione del grande tema della « disfatta di tutti i principi », per usare l'espressione di Poincaré, nelle intenzioni provocatoria, nei fatti storicamente fuorviante e infelice: il principio di conservazione dell'energia venne messo in discussione dalla scoperta del radio, la teoria dell'elettrone pose in crisi il principio di azione e reazione, il moto browniano sembrò invalidare il principio di Carnot. Nel giro di pochi anni dovranno essere rivisti anche il principio di conservazione della massa e il principio di relatività galileiano.

In connessione con questi sviluppi il dibattito epistemologico si fece particolarmente acuto alla fine degli anni '90 sia attraverso una approfondita discussione circa la natura della meccanica e i suoi rapporti con le altre scienze che vide gli interventi di De Freycinet, Milhaud, Andrade, Bouasse, Poincaré, Le Verrier, Painlevé¹⁶ e altri, sia, soprattutto, con l'intervento in profondità e in estensione dei filosofi. La filosofia, particolarmente con Boutroux, si era già in precedenza interessata delle riflessioni epistemologiche degli scienziati, ma sullo scorcio del secolo presero ad occuparsi di metodologia scientifica alcuni studiosi di formazione filosofica che dimostrarono nelle proprie analisi una ricchezza d'informa-

¹⁴ Sulla figura di Le Bon e la risonanza avuta dalla sua pretesa scoperta della « luce nera » cfr. Nye, 1974.

¹⁵ Per la figura di Langevin e relativa bibliografia sia concesso il rinvio a Maiocchi, 1975. Su Perrin cfr. Nye, 1972.

¹⁶ De Freycinet, 1896 e 1902; Milhaud, 1898; Andrade, 1898; Bouasse, 1895; Poincaré, 1900; Le Verrier, 1900; per Painlevé si veda la sua polemica con Poincaré al congresso di filosofia del 1900 riportata sulla « Revue de Métaphysique et de Morale » di quello stesso anno.

zione e una capacità penetrativa del discorso scientifico del tutto nuove: Pillon, Milhaud, il già citato Hannequin, Wilbois, Couturat, Winter e soprattutto Le Roy¹⁷ studiarono avidamente i lavori di scienziati come Poincaré, Duhem, Bouasse e Boussinesq per trarne sostegno alle proprie concezioni filosofiche.

Su tutti spicca per finezza d'indagine e, soprattutto, per la risonanza incontrata dal suo pensiero, Edouard Le Roy. Con il suo fondamentale saggio *Science et philosophie* comparso sulla *Revue de Méthaphysique et de Morale* tra il 1899 e il 1900, Le Roy compì un sistematico tentativo di utilizzare il dibattito epistemologico in atto al fine di privare la scienza di ogni valore conoscitivo, riducendola a mera tecnologia, per lasciare spazio ad altre forme di conoscenza, alle ragioni del sentimento, del cuore, dell'intuizione, creando in questo modo uno spazio culturale fondato sulle più moderne riflessioni epistemologiche al bergsonismo, il cui successo era in continua crescita, e al movimento modernista, che viveva in quegli anni la sua fase più dinamica.

Nei primissimi anni del nuovo secolo vi fu una accelerazione delle nuove tendenze scientifiche e culturali. Crebbe ulteriormente l'interesse per le ricerche sulle nuove radiazioni, toccando l'apice con la discussione del 1904 sui « raggi N » che Blondot aveva affermato d'aver scoperto¹⁸, e nel 1905 con la comparsa de *L'évolution de la matière* di Le Bon in cui veniva, sulla base delle più recenti evidenze sperimentali, enunciata la tesi che « la « materia non è eterna e può svanire senza ritorno »¹⁹. Il libro ebbe un successo enorme e in breve tempo ne furono vendute 44.000 copie, cifra straordinaria per l'epoca²⁰. Il modellismo venne rilanciato con nuova forza grazie al crescente successo della teoria degli elettroni (quindi anche della teoria di Maxwell) sostenuta in lavori importanti quali il rapporto di Picard alla esposizione universale del 1900²¹, *Electricité et optique* (1901) di Poincaré, la *Propagation de l'électricité, histoire et théorie* (1904) di Brillouin, *La physique des électrons* (1904)

¹⁷ Pillon, 1897; Milhaud, 1898; Wilbois, 1899-1900 e 1901; Couturat, 1896-7 e 1900; Winter, 1894; Le Roy, 1899-1900.

¹⁸ Sulla vicenda, che ocasionò addirittura un sondaggio d'opinione (*Enquête: Les rayons N existent-ils?*, in « Revue scientifique », 5^a serie, 2 [1904]). Si vedano Firth, 1969; Rosmorduc, 1972; Lagemann, 1977; Klotz, 1980; Nye, 1980.

¹⁹ Le Bon, 1905, p. 3.

²⁰ Anche il successivo libro di Le Bon (Le Bon, 1905) ebbe grandissimo successo, toccando le 26.000 copie.

²¹ Picard, 1901.

di Langevin, e alla affermazione prepotente della ipotesi atomistica soprattutto dovuta alla traduzione, opera di Brillouin, della *Gasttheorie* di Boltzmann nel 1902 e alla pubblicazione dei *Principes de la chimie physique* (1903) di Perrin in cui, anche se veniva presentata una teoria largamente indipendente dalla teoria cinetica, si rivendicava la correttezza metodologica di concetti quali atomo e molecola intesi in senso realista, fondandosi sulla nozione di « sensazioni possibili ». Questa posizione metodologica sarà poi alla base del piú famoso testo di Perrin, *Les Atomes*. Né va dimenticato che, sempre nel 1903, venne costruito il primo ultramicroscopio che permise la determinazione sperimentale del numero di Avogadro, evento questo che ebbe un ruolo di primissimo piano nell'affermazione della concezione cinetico-molecolare²².

La discussione epistemologica sulle ultime novità scientifiche e sull'approccio modellistico che esse parevano quasi inevitabilmente implicare divenne vieppiú vivace con la pubblicazione nel 1902 di *La science et l'hypothèse* di Poincaré che, pur riprendendo articoli già comparsi, ebbe la funzione, presentando in forma compatta i pensieri sparsi di Poincaré, di lanciare il convenzionalismo quale concezione sistematica della scienza. Nel 1904 veniva finalmente pubblicata la traduzione della *Mechanik* di Mach e con essa penetrava nella cultura francese un altro potente elemento in favore di una concezione pragmatica della scienza, che trovava una immediata eco nell'interpretazione « darwiniana » della scienza ad opera del repubblicano intransigente Le Dantec²³. Era proprio questo pragmatismo, ormai, il tema che di tutta la critica epistemologica assumeva maggior rilievo, soprattutto perché di esso si impadronirono studiosi di formazione prevalentemente filosofica che finivano, in un modo o nell'altro, per subordinare i risultati dell'analisi epistemica ai propri obiettivi culturali piú generali. Bergson era sempre piú di moda e i suoi seguaci Le Roy, Wilbois e D'Adhémar²⁴, enfatizzavano la contrapposizione tra una scienza in grado solo di fornire guide per l'azione, istituire « regole del gioco », e facoltà umane non discorsive capaci di dare genuina

²² Per la verità la discussione sugli eventi sperimentali e le teorizzazioni che condussero nei primi anni del Novecento alla vittoria dell'atomismo in fisica sull'approccio fenomenista tipico della termodinamica, che sembrava destinato a trionfare nel periodo immediatamente precedente, è assai vivace e ben lungi dal potersi dire conclusa. Cfr. nota 55 cap. II.

²³ Le Dantec, 1904. Cfr. anche Le Dantec, 1907 e 1908.

²⁴ Wilbois, 1901; D'Adhémar, 1904; Le Roy, 1901.

conoscenza. Da questo punto di vista, ovviamente, l'uso di ogni strumento appariva lecito da parte dello scienziato, e lecito anche l'impiego di modelli differenti entro lo stesso contesto teorico; la purezza logica, il rigore tanto cari a Duhem venivano decisamente subordinati alla buona riuscita strumentale di una teoria. Anzi, in Le Roy e in D'Adhémar si esprimeva la convinzione che l'incoerenza non fosse evitabile nelle teorie scientifiche: « alla base delle scienze fisiche vi sono certi circoli viziosi da cui non si può logicamente uscire »²⁵.

La netta distinzione tra le modalità procedurali proprie del metodo scientifico e i caratteri di altre attività del pensiero fu radicalizzata in questi anni anche entro il pensiero religioso modernista. Se poco prima, ad esempio con Gustave Morel e con Wilbois²⁶ l'analogia tra dogmi religiosi e principi fisici era stata sottolineata, ora, con *L'Evangile et l'Eglise* (1902) di Loisy e poi con *Qu'est-ce qu'en dogme?* (1905) di Le Roy, il modernismo sottolineò l'irriducibile originalità del fatto religioso e il peso del tutto secondario della logica nello sviluppo dei dogmi. L'atteggiamento modernista penetrò anche in quello che era stato il santuario della cultura tomista, gli *Annales de philosophie chrétienne*, che nel 1905 passarono sotto la direzione di Laberthonnière e, di contro alla visione conoscitiva della scienza propria del tomismo, si fecero banditori, soprattutto con i lavori di D'Adhémar²⁷, di una concezione strumentalista, nella quale ampia accoglienza trovava l'approccio modellista e il nuovo atomismo veniva contrapposto alla termodinamica fenomenologica di Duhem. Anche pensatori transfughi dal tomismo come Sorel²⁸ indicavano nel modellismo la strada maestra per la scienza e persino tomisti ortodossi come De Lapparent²⁹ finivano per accettare l'ipotesi atomistica, contro cui il tomismo si era sempre battuto. Ormai la penetrazione dell'atomismo sul terreno filosofico interessava gli schieramenti più disparati: ad esempio, nell'influente libro *Vers le positivisme absolu par l'idealisme* (1903), il « positivista » Louis Weber si sforzava di dimostrare che la fisica moderna conduce naturalmente alla visione atomistica.

Attacchi al fenomenismo improntato alla termodinamica comincia-

²⁵ D'Adhémar, 1904, p. 27.

²⁶ Morel, 1896; Wilbois, 1901. Cfr. per un ripensamento di queste posizioni Wilbois, 1907. Su Morel cfr. Calvet, 1907.

²⁷ Gli articoli comparsi sugli « Annales » furono poi raccolti in D'Adhémar, 1907.

²⁸ Sorel, 1905.

²⁹ De Lapparent, 1905, p. 102.

vano a provenire anche da chi intendeva sostenere il valore dell'approccio modellistico senza però nulla concedere allo strumentalismo. Era questo il caso del realismo di Langevin, che piú tardi doveva sfociare in una adesione al materialismo dialettico, o del razionalismo sperimentale, prosecutore del programma comtiano, di Abel Rey, che, a partire da *La philosophie scientifique de M. Duhem* del 1904, iniziò una polemica assai serrata con l'approccio termodinamico³⁰ di cui Duhem era ai suoi occhi il suo piú rappresentativo esponente.

Il dibattito epistemologico conosceva un'altra tappa fondamentale con la pubblicazione nel 1905 de *La valeur de la science* di Poincaré in cui, rispetto a *La science et l'hypothèse*, da un lato veniva enfatizzata la tematica della « disfatta dei principi », portando cosí acqua al mulino della reazione antiintellettualistica in atto, dall'altro lato, però, con le celebri pagine scritte in polemica con Le Roy, si tentava di porre un limite alle interpretazioni piú radicali del convenzionalismo interpretando le teorie come linguaggi attraverso i quali noi formuliamo le domande alla natura, domande cui però spetta solo alla natura dare risposte. In questo modo, come vedremo meglio in seguito, la lotta contro lo scetticismo si risolveva, almeno agli occhi di Duhem, con il misconoscimento della natura particolare del linguaggio scientifico, quella di essere un linguaggio strutturato secondo un piano deduttivo, quella di essere appunto teoria, teoria che non si limita a porre domande alla natura, ma che ne organizza le risposte.

Riassumendo, dunque, quando Duhem si accingeva nel libro del 1906 a ripresentare le proprie tesi epistemologiche degli anni 1892-94 due grandi mutamenti erano intervenuti entro la cultura scientifica francese: l'impetuosa rinascita del modellismo e la diffusione di una forte corrente antiintellettualista. Il successo della teoria degli elettroni e dell'approccio atomistico, entrambi supportati dalle nuove evidenze empiriche, avevano completamente mutato l'atteggiamento della comunità scientifica francese verso l'utilità dei modelli e le perplessità manifestate da Poincaré attorno al 1890 circa il modellismo legato alla teoria maxwelliana apparivano ora assai meno rispondenti al parere della maggioranza degli scienziati. L'accettazione della ineliminabile funzione euristica dei modelli fu un elemento importantissimo per

³⁰ Altri testi fondamentali della battaglia di Rey contro l'approccio termodinamico sono Rey, 1907 a, 1907 b e 1918.

la diffusione di una piú generale concezione strumentalista della scienza. La « crisi dei principi », la « scomparsa della materia » che parevano accompagnare l'emergere delle nuove convinzioni teoriche erano poi tematiche entro le quali a proprio agio si muoveva lo spiritualismo e l'anti-intellettualismo, sia nella sua variante laica che nella versione modernista, che nello strumentalismo trovavano la propria base epistemologica. Modellismo e strumentalismo, fisica inglese, atomismo e convenzionalismo esasperato, crisi della scienza, antimaterialismo e scetticismo spiritualista parevano formare una trama robusta, una tela destinata a circondare e soffocare il modello di razionalità scientifica che Duhem aveva elaborato negli anni '90. Per rompere questo accerchiamento Duhem scrisse la *Théorie physique*.

2. - LE RISPOSTE DI DUHEM PRECEDENTI LA "THÉORIE".

Per rispondere a questa marea montante, che ai suoi occhi era il prodotto dell'avanzata della cultura tecnica connessa con lo sviluppo industriale³¹, cultura interessata all'uso pratico delle conoscenze, non certo alla purezza metodologica delle teorie, Duhem pubblicò tra il 1902 e il 1906 una serie di volumi di cui la *Théorie physique* rappresenta il coronamento.

Alcuni testi erano schiettamente teorici: in *Thermodynamique et chimie* (1902) venivano sistematizzati in forma definitiva i lavori di chimica fondata sulla termodinamica che avevano impegnato Duhem per quasi un ventennio; in *Recherches sur l'hydrodynamique* (1903-1904) e in *Recherches sur l'élasticité* (1906) venivano invece affrontati campi tradizionali della meccanica razionale per mezzo di una estensione della teoria del potenziale termodinamico con l'intento di fare della termodinamica una scienza generale.

Altri testi erano di forte polemica e condotti con un taglio storico, anche se la storia era decisamente subordinata all'obiettivo della critica teorica. La teoria elettromagnetica era sottoposta a durissima disamina in *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell* (1902). L'ispirazione di fondo di questo lavoro è ancora quella de *L'école anglaise et les théories physiques* del 1893: opporsi alla teoria elettromagnetica, espressione piú prestigiosa della scienza anglosassone, significa difendersi dall'intrusione

³¹ Cfr. Duhem, 1899 b e 1900 a.

della incoerenza nelle teorie fisiche. Mentre però nel 1893 era Kelvin l'obiettivo fondamentale della critica, ora è Maxwell il principale oggetto d'indagine e l'incoerenza non riveste semplicemente la forma dell'uso di modelli differenti. La teoria di Maxwell, « sorprendente per le sue conseguenze », lo è « ancor più per la via insolita che ha seguito il suo autore per introdurla nella scienza »³². Se in altri scienziati suscitano scandalo le conseguenze della teoria elettromagnetica e pongono in discussione i principi della fisica classica, in Duhem suscita scandalo il *metodo* di Maxwell e la critica sul metodo fa crollare tutta la teoria che su quel metodo era stata costruita.

Innanzitutto Maxwell ha peccato contro le regole metodologiche della fisica classica in quanto ha introdotto la propria nozione più importante, quella di corrente di spostamento, in modo del tutto gratuito, violando un principio di economia: quello di porre alla base delle teorie il minor numero di grandezze possibile; per la fisica classica « non si deve fare appello a una nuova grandezza, accettare una ipotesi nuova se non quando si è costretti da una ineluttabile necessità »³³. Invece, quando Maxwell aveva introdotto la nuova grandezza « nessun fenomeno sicuramente constatato esige questa estensione... nessuna necessità logica spingeva a immaginare una elettrodinamica nuova... Sono occorsi lunghi anni di ricerche e il genio di un Hertz perché fossero scoperti i fenomeni che traducevano le sue equazioni, perché la sua teoria cessasse di essere una forma vuota di ogni materia »³⁴.

Altrettanto « strano » è lo sviluppo che la teoria elettrodinamica ha avuto nei lavori di Maxwell: questi non presenta una ma « tre elettrodinamiche distinte »³⁵. La sua prima versione (1855) vuol solo illustrare con ragionamenti analogici l'elettrodinamica per mezzo della teoria del moto di un fluido. La seconda (1861) vuole « costituire un modello meccanico che raffigura o spiega » le azioni elettriche e magnetiche. La terza (1864), lasciata da parte ogni ipotesi sulla costituzione meccanica dell'etere, assume come punto di partenza le leggi della esperienza ricavandone conseguenze analitiche in accordo con le formule cui conduce l'ipotesi di una struttura vorticoso per l'etere e mette così « in evidenza l'equivalenza assoluta tra questa interpretazione meccanica e le teorie

³² Duhem, 1902 b, p. 6.

³³ *Ibid.*, p. 7.

³⁴ *Ibid.*, p. 8.

³⁵ *Ibid.*, p. 9.

elettriche comunemente ammesse »³⁶. Anche qui, come già aveva fatto nell'articolo del 1893, Duhem non condanna l'uso di modelli in quanto tale, è anzi dispostissimo ad ammettere che tutti e tre i metodi seguiti da Maxwell « sembrano singolarmente adatti a illuminare la parte della fisica cui li si applica tutti e tre, allorquando le loro conclusioni si fondono in un armonioso accordo »³⁷. Ciò che ancora una volta viene messo sotto accusa è l'incoerenza, la mancanza di unitarietà in cui sfocia la ricerca di Maxwell: le sue teorie sono in contrasto con la fisica classica, inconciliabili tra di loro, sviluppate (come dimostrano con chiarezza le impietose analisi contenute nel testo duhemiano) secondo illogicismi, cioè errori nelle inferenze deduttive e cambiamenti nascosti di significato dei termini. Nessun altro grande fisico è mai stato tanto « sordo alle smentite delle verità acquisite »³⁸.

Poincaré l'anno precedente aveva di nuovo riproposto la fisica di Maxwell quale modello per la fisica matematica. Duhem ribadisce che accettando l'atteggiamento di Poincaré si renderebbe la scienza indegna dell'attributo di « razionale ». « Soprattutto noi ci dobbiamo attentamente guardare da un errore che è di moda oggi in una certa scuola di fisici; esso consiste nel considerare le teorie illogiche e incoerenti come degli strumenti di lavoro migliori, come dei metodi di scoperta piú fecondi »³⁹. Il celebre atteggiamento assunto da Hertz è una spia agli occhi di Duhem della incoerenza dell'opera di Maxwell: poiché anche per Hertz il sistema complessivo di Maxwell non regge alla critica logica, egli ha deciso di conservare soltanto le equazioni che costituiscono i principi delle teorie. L'equivalenza delle equazioni è per lui identica alla equivalenza tra le teorie. Ma per Duhem questo è un criterio erroneo:

perché [due teorie] siano equivalenti non è sufficiente che le equazioni che esse propongono siano letteralmente identiche; occorre anche che le lettere che figurano in queste equazioni rappresentino delle grandezze legate nello stesso modo alle quantità misurabili, e per assicurarsi di quest'ultimo carattere non è sufficiente confrontare le equazioni, occorre confrontare i ragionamenti e le ipotesi che costituiscono le due teorie⁴⁰.

In altri termini, per Duhem una teoria è (come vedremo meglio piú

³⁶ *Ibid.*, p. 10.

³⁷ *Ibid.*, p. 11.

³⁸ *Ibid.*, p. 12.

³⁹ *Ibid.*, p. 14.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 223.

avanti) qualcosa di piú complesso di un semplice gruppo di equazioni, essa è formata anche da una complessa rete di legami inferenziali e di definizioni che la connettono all'esperienza. Ridurre questa complessa rete di rapporti organicamente correlati a un gruppo di formule significa fare una pericolosa concessione allo strumentalismo.

Anche questo lungo studio polemico mostra che il criterio principale che ha guidato la battaglia di Duhem contro il meccanicismo non è stato il fenomenismo antimodellista ma l'ossessione dell'unitarietà, della coerenza logica estesa al massimo possibile. Il modellismo è combattuto solo in quanto produce, per il modo particolare in cui si è storicamente sviluppato negli inglesi, l'incoerenza in fisica, lo spezzettamento della rappresentazione teorica. È questo un tema su cui si dovrà giocoforza ritornare quando si affronterà in termini piú complessivi il rapporto tra Duhem e il meccanicismo.

Nello stesso anno 1902 Duhem si sentí spinto ad affrontare l'altra grande teoria che in quel periodo serviva da « base di lancio » per il rinnovato attacco del modellismo: la teoria atomica. Anche qui si trattava della ripresa di un lavoro risalente agli anni '90. *Le mixte et la combinaison chimique* recupera infatti, ampliandolo ma in molte pagine ripetendolo alla lettera, *Notation atomique et hypothèses atomistiques* del 1892. Del tutto immutata è la tesi di fondo: si tratta di mostrare che la chimica si è sviluppata secondo le direttive metodologiche tanto chiaramente illustrate dalla termodinamica; gli assunti teorici dei chimici (o almeno di quei chimici che hanno avuto le idee chiare circa l'esatta natura della propria scienza) sono stati formulati con lo scopo di organizzare leggi empiriche; il linguaggio atomista è, correttamente inteso, un simbolismo che fornisce « strumenti preziosi di classificazione e di scoperta », quando però lo si vuol intendere in termini realisti, considerarlo un riflesso di una struttura atomica della materia « ci si scontra in insanabili contraddizioni »⁴¹. La storia della chimica culmina trionfalmente con la fondazione della meccanica chimica, che ha riunito su basi termodinamiche la chimica alla fisica. Anche in questo testo Sainte-Claire Deville è a piú riprese additato quale scienziato che piú di ogni altro ha compreso la natura delle teorie scientifiche, particolarmente di quelle della chimica. Suo pensiero dominante, e agli occhi di Duhem anche molto illuminante, fu che « in fondo, le formule razionali non spiegano niente. Esse indicano semplicemente la possibilità di estrarre da un si-

⁴¹ Duhem, 1902 a, p. 150.

« sistema chimico complesso degli elementi meno complessi per mezzo di certi procedimenti indicati dall'esperienza »⁴². È la metodologia della termodinamica che ha consentito alla chimica di raggiungere un nuovo livello di unitarietà teorica. Certo i progressi molte volte sono stati compiuti da scienziati che, Duhem non esita a riconoscerlo, erano influenzati da una fiducia profonda nell'esistenza degli atomi; ma i modelli atomici, le visualizzazioni, dopo aver svolto la loro funzione euristica sono scomparsi, sono caduti sotto il peso o dell'esperienza o dell'analisi logica. Ciò che è rimasto intatto sono i nessi matematici tra grandezze misurabili o i principi teorici astratti che essi hanno contribuito a costruire. Soprattutto, i progressi più decisivi sono avvenuti in chimica quando, con l'applicazione della termodinamica, si è imboccata con decisione una strada non modellistica. Ancora una volta è la termodinamica che impone la validità del proprio approccio metodologico grazie all'ampia sintesi unitaria che essa si mostra capace di realizzare:

Ogni ipotesi sulla natura intima della materia, sulla struttura dei miscugli e delle combinazioni chimiche, e specialmente tutte le ipotesi atomistiche saranno bandite dal dominio della scienza; non si farà alcun uso dei principi tratti da queste ipotesi, ... le definizioni, le proposizioni della meccanica chimica condurranno, in ultima analisi, solo su grandezze rappresentanti delle proprietà fisiche misurabili; la meccanica chimica così costituita non si proporrà il compito di farci penetrare sino al cuore della materia, di rivelarci il *quid proprium* delle reazioni chimiche; il suo compito, più modesto ma più sicuro, sarà quello di classificare e di ordinare le leggi che l'esperienza ci permette di scoprire; l'accordo dei suoi corollari con i fatti sarà per essa il criterio della certezza⁴³.

I termini della polemica per Duhem non sono cambiati rispetto al 1892, si è fatta più ricca l'analisi ma non sono mutati i problemi trattati e le loro soluzioni. Non un cenno viene fatto alle nuove scoperte sperimentali che stavano riorientando la comunità scientifica verso una concezione atomistica della materia. È vero che in chimica le nuove idee nate dalle ricerche dei fisici ancora non erano penetrate, ma i chimici-fisici già cominciavano a esplorare la possibilità, ad esempio, di spiegare la teoria della valenza in base alle proprietà dell'elettrone (Abegg e Bodländer impostarono un simile programma nel 1899) e Duhem era uno dei massimi sostenitori della necessità di riunificare chimica e fisica. Certamente nel momento in cui Duhem scriveva *Le mixte* la scoperta dell'e-

⁴² Sainte-Claire Deville, 1869, p. 32, cit. in Duhem, 1902 a, pp. 165-6.

⁴³ Duhem, 1902 a, p. 197.

lettrone non aveva ancora prodotto alcuna nuova teoria chimica su basi atomistiche che non fosse un rozzo abbozzo, ma era proprio quella scoperta (unita allo studio delle altre radiazioni) che poneva su basi interamente nuove il problema della possibile realtà dell'ipotesi atomistica, eran le grandi novità sperimentali a rilanciare l'atomismo, erano queste l'oggetto fondamentale del dibattito in corso. Duhem interviene nella discussione sull'atomismo ignorando il principale argomento del contendere, proponendo una risposta immutata rispetto a quella data un decennio prima. Esorcizza con il silenzio lo spettro che stava sorgendo e mostra con chiarezza che, a suo parere, i termini dello scontro tra atomismo e fenomenismo non erano stati minimamente mutati dalle nuove scoperte.

Questo atteggiamento ha una sua precisa giustificazione che giace sul terreno della storia. Duhem è convinto che l'evoluzione delle teorie fisiche degli ultimi tre secoli mostri con chiarezza che la tendenza dominante va verso la formulazione di una teoria unitaria sulla base della trattazione matematica di grandezze misurabili. Era questa la conclusione cui era giunto nella sua analisi dell'evoluzione dell'elettromagnetismo in *Les théories de l'optique* del 1894, confermata dallo studio della storia delle dottrine del calore compiuto in *Les théories de la chaleur* del 1895, e enunciata come legge storica in *L'évolution des théories physiques du XVII^e siècle jusqu'à nos jours* del 1896, legge che verrà poi riaffermata nel 1905:

Il movimento attraverso cui si è evoluta la fisica si può scomporre in due altri movimenti che incessantemente si sovrappongono l'uno all'altro. L'uno consiste in una successione di alternative continue: una teoria nasce, domina per un istante la scena, poi crolla e un'altra teoria la sostituisce. L'altro movimento è un progresso continuo attraverso cui vediamo crearsi nel tempo una rappresentazione matematica sempre più ampia e precisa del mondo inanimato rivelatoci dalla esperienza. I trionfi effimeri, seguiti da improvvise devastazioni che costituiscono il primo dei due movimenti sono i successi ed i rovesci a turno subiti dai diversi fisici meccanicisti, dalla fisica newtoniana così come da quella cartesiana o da quella atomistica. Al contrario, il progresso continuo del secondo movimento ha avuto come risultato la termodinamica generale. In essa sono venute convergendo le legittime e feconde tendenze delle precedenti teorie. È da questo termine che deve necessariamente avere inizio nella nostra epoca il cammino che avvierà la teoria verso il suo obiettivo ideale⁴⁴.

La nuova ventata di atomismo per Duhem poteva sedurre solo chi

⁴⁴ Duhem, 1905 b, p. 343.

non avesse meditato sull'evoluzione storica delle teorie. Per chi avesse invece colto la dinamica storica nella sua profondità la nuova moda appariva soltanto uno dei tanti episodi in cui gli atomisti tentano di « impossessarsi con fretta febbricitante del campo appena esplorato »⁴⁵, per poi doversi arrendere e lasciare il campo alla teoria astratta.

Chi per esempio desse credito alla teoria fisica così come è presentata nell'anno di grazia 1905 — dirà nella *Physique du Croyant* — dalla maggioranza di chi l'insegna, chi prestasse orecchio alle parole dei corsi e ai rumori dei laboratori senza guardare indietro, senza curarsi di ciò che si professava poc'anzi, sentirebbe i fisici invocare incessantemente nelle loro teorie le molecole, gli atomi, e gli elettroni, contare i corpuscoli, determinarne le dimensioni, la massa, la carica elettrica. Al consenso quasi universale che favorisce queste dottrine, all'entusiasmo da esse sollevato, alle scoperte da esse provocate, o che si attribuiscono loro, senza dubbio egli li additerebbe al pari di profetici precursori della teoria destinata a trionfare nell'avvenire⁴⁶.

Niente di nuovo sotto il sole, invece, per lo storico della scienza il quale constaterà « che i tentativi di spiegazione fondati sull'atomismo, fin dai tempi piú remoti, hanno sempre accompagnato la teoria fisica, mentre riconoscerà in quest'ultima l'opera prodotta dalla forza di astrazione »⁴⁷. Dall'alto di questa aristocratica superiorità datagli dallo studio della storia Duhem pensa di elevarsi sopra il contingente dibattito sulle nuove particelle e le nuove radiazioni per condurre in *Le mixte* la propria battaglia contro l'atomismo rialzando, nelle intenzioni, il tiro, e mostrando che la storia plurisecolare della chimica dimostra la vanità di ogni approccio atomistico.

Duhem si rendeva ben conto che atomismo e nuova teoria elettromagnetica erano due varianti di una forma di modellismo piú generale, quella proprio del meccanicismo, che nel modello aveva sempre visto una componente privilegiata della metodologia scientifica. Le nuove teorie modellistiche erano gli eredi, moderni e rinnovati ma pur sempre eredi, del modo di concepire la teorizzazione scientifica inaugurato da Cartesio e che aveva imposto il proprio giogo alla comunità scientifica fino all'avvento della termodinamica. La lotta al nuovo modellismo andava completata con un'analisi e una critica dell'ispirazione, dei modi in cui si era evoluto e delle difficoltà del meccanicismo sin dalla sua ori-

⁴⁵ *Ibid.*, p. 341.

⁴⁶ *Ibid.*, pp. 340-1.

⁴⁷ *Ivi.*

gine, per mostrare la radice comune dei vari approcci meccanicisti e degli esiti cui essi erano destinati. Questo compito fu affrontato in *L'évolution de la mécanique* del 1903.

L'originario meccanicismo cartesiano è considerato un grandioso tentativo di semplificazione della teoria fisica grazie alla abolizione della categoria della qualità, la riduzione del tutto alla quantità pura, con la formulazione della matematica universale. « Certo la concezione di una tale fisica è di semplicità ammirevole, ma a forza di semplificare la fisica, a forza di svuotarla di ogni contenuto che non fosse puramente geometrico, Cartesio l'ha ridotta ad un vano fantasma, incapace di rappresentare il mondo dei corpi »⁴⁸. Per render conto del mondo dei fenomeni il meccanicismo è stato costretto a complicare progressivamente la propria forma originaria introducendo nuovi concetti (come quello di forza) e ipotesi non controllabili che hanno generato dispute a non finire.

La meccanica analitica di Lagrange è antimodellista, è una « reazione contro le tendenze di Gassendi, Cartesio, Huygens »⁴⁹. Essa si è contrapposta per tutto l'Ottocento alla *mécanique physique* di Poisson, modellista e, nelle intenzioni di Poisson, anche realista. La storia di questa opposizione è storia di scappatoie, sottigliezze, ipotesi *ad hoc*, « mezzi di difesa disperati »⁵⁰ che i seguaci di Poisson hanno dovuto inventare per salvaguardare la propria teoria sia delle smentite dell'esperienza, sia da difficoltà di tipo logico. Un nuovo sostegno al modellismo atomistico è però giunto dalla formulazione della teoria cinetica dei gas. Questa introduce un carattere nuovo, che sempre sospetto era parso agli scienziati francesi nella seconda metà dell'ottocento: « eccoci obbligati a ricorrere al calcolo delle probabilità, malgrado le esitazioni e i dubbi che sembrano inerenti a questo ordine di ragionamenti. Il più piccolo problema di teoria cinetica sarà dunque un enigma difficile da decifrare, difficile anche da enunciare, se si tiene a soddisfare le esigenze delle menti rigorose »⁵¹. Le ipotesi generali comuni a tutti gli autori non

⁴⁸ Duhem, 1903 a, p. 16.

⁴⁹ *Ibid.*, p. 89.

⁵⁰ *Ibid.*, p. 87.

⁵¹ *Ibid.*, p. 97. Questa mancanza di rigore era ammessa anche dal sostenitore principale della teoria cinetica in Francia, Brillouin, il quale premetteva alla propria traduzione del testo di Boltzmann questa interessante dichiarazione: « Ciò che occorre considerare in primo luogo per decidere se una teoria merita l'attenzione è il carattere delle idee generali che essa fa operare e non il modo in cui le fa lavorare. Queste idee sorgono spontaneamente dalla osservazione, si collegano a

sono sufficienti a ricavare leggi controllabili; le ipotesi aggiuntive necessarie variano da un autore all'altro. « Da qui diverse teorie particolari, disperate tra di loro, sebbene esse derivino tutte da una stessa idea generale; discordanti nelle loro conseguenze, che non offrono mai un accordo con i fatti che non sia solo parziale; da qui lo stato un po' caotico di questa parte della fisica »⁵².

Le difficoltà incontrate dalla teoria hanno indotto i suoi sostenitori a lasciar cadere definitivamente il sogno, la tentazione spesso riaffiorata nel meccanicismo di considerare i propri modelli in termini realisti. Anche a proposito della teoria cinetica, come già accaduto per il modellismo connesso con la teoria elettromagnetica, la polemica di Duhem non è certo interpretabile nei termini di una concezione fenomenica che si oppone ad un modellismo ontologizzante. Assai più pregnante appare invece anche qui la contrapposizione tra unitarietà (permessa dalla fisica fenomenologica) e disorganicità (connessa al modellismo inteso con funzioni euristiche):

Sembra proprio che i partigiani più convinti dell'ipotesi cinetica, e in particolare l'illustre Boltzmann, abbiano rinunciato a ricondurre questo caos all'ordine e all'unità, a trarre dall'ipotesi [cinetica], aiutata da un certo numero di ipotesi secondarie, una dottrina coerente, conforme a tutti i fatti rivelati dallo studio dei gas perfetti. Essi sembrano rassegnarsi a vedere nelle diverse forme della teoria cinetica solo degli esempi meccanici che *imitano* certe proprietà del gas, che possono, per via d'*analogia*, dare agli sperimentatori utili indicazioni, ma che non *spiegano* affatto la costituzione reale del gas, che non provano per niente che la materia sia realmente formata come vogliono gli atomisti⁵³.

tutta una serie di idee analoghe e coerenti, relative a un vasto insieme di fenomeni di cui quelli che si vogliono studiare fanno naturalmente parte? Semplici alla partenza, sembrano gravide di conseguenze varie e numerose, naturalmente tratte dall'idea primitiva? Allora, per quanto imperfetto possa essere lo sviluppo matematico, per quanto dubbiose possano apparire certe dimostrazioni, per quanto contestabili appaiano certi risultati, la teoria merita l'attenzione e lo studio approfondito... perché se il rigore solo è definitivo, non è il solo interessante » (Brillouin, 1902, pp. vi-vii). Sulle difficoltà concettuali e matematiche in cui si dibatteva la teoria cinetica dei gas in quegli anni, che rendono sostanzialmente esatto il giudizio di Duhem (anche se non condividibile il parere di usarlo come criterio per scartare la teoria cinetica) cfr. Bellone, 1972; Klein, 1972-3; Clark, 1976; Brush, 1976.

⁵² Duhem, 1903 a, p. 99.

⁵³ *Ibid.*, pp. 100-1. Come il giudizio a proposito del meccanicismo degli inglesi, anche quello di Duhem su Boltzmann pare sostanzialmente esatto. Dopo aver attraversato una fase realista, Boltzmann approdò negli ultimissimi anni del XIX secolo a sostenere una posizione più strumentalista: « Tutti i nostri concetti

Particolarmente grave per i sostenitori di ipotesi meccaniche si è rivelato, ovviamente, il problema della apparente irreversibilità dei fenomeni termici, di contro alla reversibilità propria dei sistemi puramente meccanici. Assai lunga e minuziosa è l'analisi che Duhem compie dei vari tentativi fatti per risolvere il problema. Le sue conclusioni, tuttavia, non sono, come non lo erano state negli anni precedenti, catastrofiste. Il principio di Carnot non conduce ad una crisi della meccanica, conduce piuttosto, ancora una volta, il meccanicismo a dover ulteriormente complicare le proprie ipotesi, a rinunciare alla pretesa di attribuire alle strutture nascoste una costituzione semplice. Tuttavia, data l'illimitata libertà che si ha di ipotizzare movimenti nascosti di ogni tipo, non è esclusa la possibilità di riuscire ad accordare la meccanica con la irreversibilità fenomenica: « Tutti gli scarti che l'esperienza manifesta tra i movimenti naturali non reversibili e i movimenti reversibili previsti dalle equazioni di Lagrange possono spiegarsi con l'intervento di movimenti nascosti? Non sembra che si possa con certezza rispondere negativamente a questa domanda. Poiché non si impone alcuna restrizione ai movimenti nascosti, su cosa ci si fonderà per provare che uno scarto determinato non può trovare in essi la sua ragion d'essere? »⁵⁴. L'assoluta libertà di cui godono le ipotesi meccaniciste sottrae « è vero la teoria alle contraddizioni sperimentali, ma, per contro, la priva del controllo dei fatti »⁵⁵. Tale indeterminazione assoluta fa sì che nessuna legge sperimentale sarà ribelle ad una spiegazione meccanica, ma « allora, per il fisico, l'ipotesi

e le nostre rappresentazioni non sono in verità che delle immagini del nostro pensiero (*Gedankenbilder*), che noi esprimiamo con parole. Il compito del nostro pensiero è allora quello di utilizzare e di legare tra loro queste immagini, in modo che grazie a queste noi possiamo in ogni momento realizzare il più facilmente possibile atti corretti, e invitare altri a seguire questo esempio ... I simboli concettuali che noi formiamo non hanno altra esistenza che in noi e noi non sapremmo valutare le apparenze esteriori se non nella misura delle nostre rappresentazioni. Noi possiamo così rigettare formalmente certe questioni quali: la materia esiste e la forza non è che una proprietà, oppure la forza esiste indipendentemente dalla materia, o al contrario la materia è una produzione della forza? Queste questioni non hanno alcun significato, perché tutti questi concetti non sono che immagini del pensiero aventi per oggetto la rappresentazione corretta dei fenomeni » (Boltzmann, *Ueber die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik* [1899], trad. ingl., in Boltzmann, 1974, p. 104). Sull'epistemologia di Boltzmann e la sua opera teorica cfr. Broda, 1955; Dugas, 1959; Cohen-Thirring, 1973; Elkana, 1974 a; Boltzmann, 1974; Klein, 1974.

⁵⁴ Duhem, 1893 a, p. 148.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 154.

che tutti i fenomeni possano spiegarsi meccanicamente non è né vera né falsa, essa è priva di senso »⁵⁶.

Il meccanicismo ha così consumato la propria parabola: nato per essere spiegazione semplice dell'esperienza è divenuto insieme complicatissimo e disorganico di ipotesi prive di presa sull'esperienza. Ancora una volta è la termodinamica di Gibbs e di Helmholtz che si presenta come la razionale prosecuzione della scienza prodotta nel XVII, XVIII e XIX secolo: essa recupera della scienza meccanicista la parte viva, la teoria astratta, matematizzata, lasciando cadere l'« impalcatura » modellistica, la generalizza senza produrre fratture « per mezzo di aggiunte e modificazioni quanto più leggere possibili »⁵⁷, senza spezzare l'unitarietà della teoria fisica come fanno i nuovi modellisti:

Figli ingrati che feriscono il seno da cui hanno succhiato il latte, essi rompono con gioia la tradizione scientifica ... preferiscono le spiegazioni inconseguenti di Maxwell ai capolavori logici di un Gauss e di un Ampère ... Se la meccanica nuova non si opponesse con tutte le sue forze a una simile tendenza, essa cesserebbe di meritare il titolo che portava, fieramente e legittimamente, l'antica meccanica, essa non sarebbe più la meccanica razionale⁵⁸.

Con questi testi Duhem aveva affrontato i problemi posti dalla evoluzione della situazione culturale francese sul terreno scientifico, con ampio sussidio dell'indagine storica. Restava ancora da affrontare la lotta contro il nuovo modellismo e le concezioni strumentaliste della scienza ad esso connesse sul terreno propriamente epistemologico, terreno sul quale il dibattito tra il 1900, data di pubblicazione di *Science et philosophie* di Le Roy e il 1905, anno in cui comparve *La valeur de la science* di Poincaré, fu particolarmente vivo. A questo scopo Duhem compose, riprendendo i lavori epistemologici già comparsi un decennio prima, la *Theorie physique*.

Ala luce dell'analisi fatta nelle pagine che precedono questo celebre testo appare, e l'indagine sul testo stesso lo confermerà, l'atto finale di una battaglia contro i più recenti sviluppi della fisica e contro lo scetticismo strumentalista, battaglia condotta in nome delle ragioni di un modello di scientificità che trova:

⁵⁶ *Ibid.*, p. 179.

⁵⁷ *Ibid.*, p. 304.

⁵⁸ *Ibid.*, p. 337.

interamente le proprie radici nella scienza ottocentesca, in particolare nella termodinamica. Ciò significa che la *Téorie physique* non può essere interpretata come la presentazione di una concezione della scienza strumentalista, riflesso sul piano epistemologico degli eventi scientifici profondamente innovativi che si ammassarono attorno al 1900, non solo perché, come si è già detto nel capitolo precedente, le tesi contenute nel libro risalgono ad un periodo precedente, ma anche perché la finalità che Duhem si proponeva nel riesumare quelle tesi era esattamente l'opposto: si trattava di combattere lo strumentalismo che in quelle novità aveva trovato alimento.

È veramente singolare, da questo punto di vista, la sorte cui è andato incontro nella storiografia questo libro: esso è sempre stato interpretato come la espressione più acuta di un radicale convenzionalismo scaturito dalla « crisi delle scienze », mentre nelle intenzioni di Duhem doveva essere esattamente l'opposto. Questo fraintendimento a mio avviso clamoroso del pensiero duhemiano è stato generato sia da una lettura della *Théorie* che ha privilegiato in modo arbitrario la parte di critica alla concezione positivista di scienza, relegando il resto nel limbo dell'ideologia ed attribuendolo all'influenza perniciosa dell'aristotelismo, del cattolicesimo, del tomismo, delle convinzioni politiche reazionarie di Duhem, sia, in modo ancor più decisivo, dalla assoluta mancanza d'indagine storiografica sul posto preciso occupato da questo testo nella evoluzione del pensiero duhemiano. Del resto questo è stato l'atteggiamento assunto anche nei confronti degli altri libri di Duhem, letti per trarne citazioni dotte o sostegni a ricostruzioni di vicende immaginarie del convenzionalismo. Duhem è un autore più saccheggiato che studiato, e il saccheggio permette certo di utilizzare un autore, ma non di capirlo. L'indagine, seppur breve, che ho prima delineato dell'articolarsi del pensiero duhemiano permette invece di intendere con correttezza gli scopi che si poneva Duhem con la pubblicazione della *Théorie Physique*. L'esame del testo confermerà l'interpretazione qui proposta.

3. - LA DEMARCAZIONE TRA SCIENZA E METAFISICA E LA CRITICA DEL MECCANICISMO.

Il problema con cui si apre la *Théorie physique* diverrà uno dei principali, se non il principale problema che dibatterà la filosofia della scienza del Novecento, quello della demarcazione tra scienza e metafisica,

che, in termini duhemiani, si pone come problema di distinzione tra teorie rappresentative e teorie esplicative: solo le prime sono degne del titolo di teorie scientifiche.

Le teorie rappresentative sono « un sistema astratto che ha per scopo quello di riassumere e classificare logicamente un insieme di leggi sperimentali », le teorie esplicative si propongono invece la « spiegazione di un insieme di leggi sperimentalmente stabilite »⁵⁹.

La distinzione si fonda, evidentemente, sul significato da attribuire al termine spiegazione: « Spiegare, *explicare*, significa spogliare la *realtà* dalle apparenze che l'avviluppano come dei veli, al fine di vedere questa realtà nuda faccia a faccia... Spogliando, lacerando i veli di queste apparenze sensibili, la teoria ... va alla ricerca di ciò che è realmente nei corpi »⁶⁰.

Questa distinzione tra fenomeni e realtà, con conseguente delimitazione della scienza all'ambito fenomenico, non è certo caratteristica di Duhem, è tema largamente diffuso nella cultura europea, da Mach a Poincaré, da Ostwald a Pearson, da Stallo a Le Roy, da Kirchhoff a Maxwell. Né tale opposizione era nuova, anzi essa era uno dei più significativi tratti del positivismo e in Francia risaliva da Claude Bernard, attraverso Ampère e Fourier, gli *ideologues*, la polemica contro la ricerca di cause di Laplace, attraverso Lavoisier e Condillac all'indietro sino al *Discours préliminaire* di d'Alembert.

In effetti l'opposizione a questa linea di demarcazione era giunta a Duhem, quando aveva enunciato la prima volta le proprie tesi, quasi esclusivamente da parte neotomista. Ormai però nel 1906, come vedremo meglio al cap. V, Duhem aveva da tempo cessato di considerare il neotomismo come un interlocutore degno d'attenzione e la polemica con le posizioni tomiste sul valore esplicativo delle teorie che egli aveva condotto nel 1893 in *Physique et métaphysique* viene qui completamente lasciata cadere. Il rifiuto delle teorie esplicative pare a Duhem una porta ormai aperta che non occorre più sfondare e la questione è liquidata nella *Théorie* in poche pagine.

Data quella definizione di spiegazione scientifica (equivalente a scoprire la realtà ultima nascosta sotto le apparenze) è facile mostrare che le teorie esplicative risultano inevitabilmente dipendenti da convinzioni

⁵⁹ Duhem, 1906 a, p. 5.

⁶⁰ *Ibid.*, p. 6.

metafisiche. È infatti solo la metafisica che può dare una risposta agli interrogativi « esiste una realtà materiale distinta dalle apparenze sensibili? Di che natura è questa realtà? » ⁶¹.

Al variare del sistema metafisico adottato varieranno le risposte; ma allora sulla scienza si rifletterà tutta l'incertezza, tutto il soggettivismo che sempre ha accompagnato le dispute filosofiche sulla natura della realtà. « È chiaro che mettendo la fisica teorica sotto la dipendenza della metafisica non si contribuisce ad assicurarle il beneficio del consenso universale » ⁶².

Inoltre anche se vi fosse assenso su un particolare sistema metafisico, questo non sarebbe certo in grado di indicare tutti gli elementi necessari alla costruzione di una teoria fisica: « nessuna metafisica dà insegnamenti così precisi, così dettagliati da consentire di trarre da essi tutti gli elementi di una teoria fisica » ⁶³. Per questo motivo occorrerà sempre far appello ad affermazioni che non sono fornite dal sistema metafisico e che, dunque, rimangono misteriose per i partigiani del sistema: « sempre, al fondo delle spiegazioni che esso pretende di dare, giace l'inesplicato » ⁶⁴. Pochi casi storici, esaminati in tutta fretta, servono a liquidare la questione nel giro di poche pagine in quello che è, molto significativamente, il più breve capitolo del libro.

È evidente che per Duhem la polemica contro la concezione esplicativa delle teorie scientifiche non è né importante, né molto attuale e che ben altri sono gli avversari che contano. La polemica in favore della indipendenza della scienza dalla metafisica era già stata condotta da Duhem all'inizio degli anni '90 contro la cultura tomista, ma questa non era più da considerarsi un avversario degno di molte attenzioni. Del resto le precedenti argomentazioni duhemiane erano già state ampiamente accolte, con l'ovvia eccezione degli ambienti tomisti. Ad esempio fin dal 1894 Henri Bouasse, che pure fu uno dei primi sostenitori della teoria di Maxwell, scriveva, rieccheggiando Duhem, a proposito delle teorie che partono da ipotesi sulla struttura ultima della materia, che il loro metodo « sarebbe inattaccabile se esistessero nei fatti dei principi metafisici così evidenti quanto Descartes li vuole supporre e ab-

⁶¹ *Ibid.*, p. 10.

⁶² *Ibid.*, p. 20.

⁶³ *Ibid.*, p. 21.

⁶⁴ *Ibid.*, p. 24.

bastanza precisi perché effettivamente se ne possano dedurre i dettagli dei fenomeni »⁶⁵. Ciò conferma quanto sia fuorviante interpretare la nascita delle nuove idee epistemologiche di quegli anni come una reazione ad una concezione della scienza con pretese ontologizzanti, una scienza che ricerca o si illude d'aver trovato una identificazione tra schemi teorici e realtà obiettiva. Anche se nel passato le teorie esplicative avevano avuto molti sostenitori e ancora conservavano un certo fascino, nel momento storico in cui Duhem scrive la *Théorie* egli vede un concorrente ben più agguerrito per le teorie rappresentative, avversario più pericoloso proprio perché non si lega a questo o a quel sistema metafisico: si tratta, naturalmente, del modellismo di stampo anglosassone.

Ancora una volta Duhem risfodera armi già impiegate a più riprese per polemizzare contro il tradizionale avversario. È tuttavia indispensabile notare che il modellismo anglosassone è con estrema chiarezza distinto dalle concezioni di scienza esplicative discusse nel primo capitolo della *Théorie*. È questo uno dei punti su cui più spesso viene fatta confusione: sovente la battaglia di Duhem contro il modellismo inglese è interpretata nei termini di lotta contro le teorie esplicative, contro una variante moderna del cartesianesimo che pretende di attribuire un senso realista ai propri modelli. Ad esempio, René Poirier scriveva nel 1967 che l'ostilità di Duhem verso i modelli dipendeva soprattutto dalla circostanza che « essi pretendono spontaneamente di attingere la realtà fisica e questo dogmatismo, questa ontologia fisica sono pieni di pericoli e suscitano un conflitto illusorio con la metafisica e la teologia »⁶⁶. È chiaro che interpretazioni di questo tipo contribuiscono a fare di Duhem un pensatore impegnato a combattere un modellismo metafisiceggiante quindi ad alimentare la tesi storiografica semplicista del convenzionalismo quale reazione ad una fisica classica che presume di identificare i propri schemi teorici con la realtà. Credo di aver mostrato la insostenibilità di simili

⁶⁵ Bouasse, 1894, p. 307.

⁶⁶ Poirier, 1967, p. 403. Più recentemente Redondi ha affermato: « Per Duhem... i modelli figurativi portano la scienza ad un realismo materialista incompatibile con la specificità della scienza ... Il contributo più innovatore dato da Duhem alla tematica convenzionalista consiste nella critica del concetto di spiegazione scientifica quale si presentava nel meccanicismo. Questo tipo di spiegazione consisteva nel riconoscere al di sotto delle apparenze una struttura interna capace di spiegare il comportamento dei fenomeni » (Redondi, 1978 a, pp. 27 e 37).

posizioni già con l'analisi delle opere di Duhem precedenti il 1906. Anche nella *Théorie* i risultati raggiunti trovano una piena conferma.

In verità Duhem nella *Théorie*, così come in tutte le opere nelle quali aveva toccato l'argomento, non confonde affatto gli inglesi con i sostenitori delle ipotesi esplicative. Anche se, ovviamente, gli inglesi sono in senso lato inseriti nella grande tradizione meccanicista in quanto fanno uso di modelli meccanici, essi vanno ben distinti dal meccanicismo classico di tipo esplicativo: « Ciò che distingue la scuola inglese non è affatto l'aver tentato la riduzione della materia a un meccanismo, è la forma particolare dei suoi tentativi di ottenere questa riduzione »⁶⁷. I modelli degli inglesi non hanno per Duhem funzioni esplicative:

[W. Thomson] non avrebbe potuto avvertirci più chiaramente che i modelli che ci propone non devono esser presi per delle spiegazioni delle leggi naturali; colui che attribuisse loro un tale significato si esporrebbe a delle strane sorprese ... Così, il grande fisico inglese non ci ha affatto dato questo modello dell'elasticità per una spiegazione. « Ben che la costituzione molecolare dei solidi che è stata ipotizzata in queste note, e che è stata illustrata meccanicamente nel nostro modello, non deve essere considerata come vera in natura, nondimeno la costruzione di un modello meccanico di questo genere è certamente molto istruttivo »⁶⁸.

Ancor più chiaramente Duhem si era espresso nel 1893: « W. Thomson non dimentica mai che egli non raggiunge l'essenza delle cose, che egli si limita a costruire un apparecchio capace di simulare certi fenomeni; questo pensiero è senza sosta presente nella sua mente, vi ritorna ad ogni istante »⁶⁹.

Proprio perché il modellismo inglese non è esplicativo, esso non cade sotto il dominio della metafisica, ma conserva la piena indipendenza:

Quando un fisico inglese cerca di costruire un modello adatto a rappresentare un insieme di leggi fisiche non si preoccupa di alcun principio cosmologico ... Non cerca di dedurre il suo modello da un sistema filosofico né di metterlo d'accordo con un tale sistema. Non ha che uno scopo: creare una immagine visibile e palpabile delle leggi astratte che il suo pensiero non potrebbe cogliere senza l'aiuto di questo modello. Posto che il meccanismo sia ben concreto, ben chiaro all'immaginazione, a lui poco importa che la cosmologia atomista se ne dichiari soddisfatta o che i principi del cartesianesimo lo condannino. Il fisico inglese non domanda

⁶⁷ Duhem, 1906 a, p. 115.

⁶⁸ *Ibid.*, p. 119 (la prima spaziatura è mia, la seconda è nel testo).

⁶⁹ Duhem, 1893 d, p. 359.

ad alcuna metafisica di fornirgli gli elementi con i quali comporrà i suoi meccanismi, non cerca che sapere quali sono le proprietà irriducibili degli elementi ultimi della materia ⁷⁰.

A volte il linguaggio impiegato da Duhem presta il fianco a possibili fraintendimenti, ad esempio quando afferma: « La scuola inglese è conquistata interamente alle spiegazioni puramente meccaniche dei fenomeni fisici » ⁷¹. Ma è chiaro dal contesto e da tutta l'impalcatura del discorso duhemiano, condotto nella *Théorie* e in tanti altri saggi, che il termine « spiegazioni » risulta qui fuorviante, perché Duhem non lo intende nel senso in cui aveva precedentemente definito il termine « spiegazione ». Il brano citato è infatti la conclusione di un paragrafo in cui con chiarezza egli illustra l'uso esclusivamente euristico che hanno i modelli per gli inglesi: « Comprendere un fenomeno fisico significa dunque per i fisici della scuola inglese comporre un modello che imita questo fenomeno; allora comprendere la natura delle cose materiali consisterà nell'immaginare un meccanismo il cui funzionamento rappresenterà, simulerà le proprietà dei corpi » ⁷².

Se la discussione delle teorie esplicative si era risolta in neppure una ventina di pagine, quella sul modellismo inglese occupa più di ottanta pagine, a riprova di quale importanza ben maggiore assumesse agli occhi di Duhem il nuovo modellismo non ontologico. Non vi è nulla in questa parte della *Théorie* che non fosse già stato detto e ripetuto in lavori precedenti, anzi questa parte appare la più frusta, la più sfruttata e ripetitiva per chi conosca l'antecedente produzione di Duhem. La critica parte con l'opposizione, sostenuta con l'appoggio di ampie e frequenti citazioni di Pascal, tra due tipi di intelligenze: quelle ampie, o immaginative, che hanno grande capacità di cogliere nel loro insieme e in modo preciso e minuzioso un gran numero di oggetti disparati a patto che si tratti di oggetti tangibili o visibili, e quelle profonde, che prediligono e colgono senza sforzo le idee astratte e le costruzioni logicamente coordinate. Benché non manchino casi di intelligenze ampie anche sul suolo di Francia, ad esempio Napoleone, è indubbiamente la Gran Bretagna il paese in cui predomina (« è uno stato endemico ») ⁷³,

⁷⁰ Duhem, 1906 a, p. 117.

⁷¹ *Ibid.*, p. 113.

⁷² *Ivi.*

⁷³ *Ibid.*, p. 99.

quel tipo di intelligenza. I francesi sono invece gli eredi di Cartesio, avidi soprattutto « di chiarezza e di ordine, di metodo »⁷⁴.

L'opposizione tra i due diversi spiriti dei francesi e degli inglesi si manifesta in ogni settore della cultura, dalla letteratura, con l'opposizione tra Corneille e Shakespeare, alla filosofia, con quella delle diverse personalità di Cartesio e Bacone. Ma esso è presente anche nella « vita sociale » investendo la caotica legislazione d'Oltremania di contro alla metodicità dei codici francesi, o la vita politica, nella quale gli inglesi sono conservatori, rispettosi di ogni tradizione comunque essa sia, mentre i francesi, sempre per amore della chiarezza e dell'ordine, concepiscono la storia come perpetuo ricominciamento, come serie di rivoluzioni che vogliono realizzare un preciso, ordinato e metodico disegno politico. Naturalmente questo contrasto si manifesta anche nella scienza ove si fronteggiano la grande tradizione della scuola di Laplace, Poisson, Ampère e Fourier, per i quali la scienza è essenzialmente teoria astratta coordinata con logica rigorosa, e il nuovo, caotico modellismo anglosassone, tutto teso alla comprensione del mondo in termini di modelli concreti, capaci di soddisfare l'immaginazione.

Nel 1915, poco prima di morire, Duhem riprenderà in esame il tema dei caratteri nazionali delle varie produzioni scientifiche in pieno clima bellico, occupandosi della scienza tedesca, con una serie di articoli di marcata impronta nazionalista poi raccolti in parte ne *La Science allemande*. Qui i termini della polemica saranno rovesciati: gli scienziati tedeschi (prima sempre accomunati ai francesi) saranno accusati di essere attenti esclusivamente ai bisogni della logica, del rigore, preoccupati unicamente di compiere minuziose deduzioni, senza tuttavia badare ai principi posti a fondamento della deduzione. Tipico esempio di teoria « tedesca » sarà indicato nella teoria di Einstein, impeccabile dal punto di vista del rigore, ma eretta su principi del tutto privi di buon senso. Ai caratteri propri del pensiero francese sarà pertanto aggiunto, oltre all'amore per il rigore, anche una buona dose di buon senso nella scelta dei principi.

Sicuramente le analisi di Duhem sugli stili nazionali di scientificità appaiono, soprattutto quelle contenute in *La Science Allemande*, caratterizzati da un'enfasi nazionalista che scivola sovente nello sciovinismo, ma non possono essere considerate il frutto « malato » di una personalità particolarmente xenofoba. La discussione sulle particolarità proprie

⁷⁴ *Ibid.*, p. 106.

di ogni cultura nazionale fu assai ricca nella Francia repubblicana e molta storiografia francese fu impegnata proprio nella individuazione delle caratteristiche culturali nazionali (e, laddove possibile, nel porre in risalto la superiorità della cultura francese). Nel 1872 l'importante storico Fustel de Coulanges, che poi sarà ammirato e considerato un grande esempio da Duhem, in un articolo che divenne celebre, *De la manière d'écrire l'histoire en France et en Allemagne depuis cinquante ans*, aveva perorato l'abbandono di una storiografia a tesi per una ricerca più disinteressata. Era comunque stato costretto ad ammettere che il suo ideale per il momento non era realizzabile, attribuendone la responsabilità naturalmente agli avversari, e aveva pertanto indicato alla storiografia francese un obiettivo di battaglia:

Tutto è lotta attorno a noi e contro di noi; è inevitabile che l'erudizione stessa si armi di scudo e di spada. Sono cinquant'anni che la Francia è attaccata dalla truppa degli eruditi ... È dunque legittimo che gli storici rispondano alfine a queste incessanti aggressioni, smascherino le menzogne ...⁷⁵.

È vero, proseguiva Fustel, che la scienza non ha paese, ma gli scienziati un paese ce l'hanno e imparzialità non significa indifferenza alle ragioni della patria.

Vi fu un ricco fiorire di studi sui caratteri specifici delle varie culture nazionali e le osservazioni che Duhem compie sul « genio inglese » nella letteratura, nella economia, nel diritto, ecc. si possono trovare sparse in lavori, ad esempio, di Misland, Fouillé, Janet⁷⁶. L'opposizione tra « spirito classico » francese, ordinato e rigoroso, e spirito inglese caotico e sensibile al particolare concreto era estesa anche a settori che Duhem non sembra conoscere, ad esempio la pittura. Proprio negli anni in cui per la prima volta Duhem teorizzava l'esistenza di una fisica tipicamente inglese, Robert de La Sizeranne, in un lungo studio sulla pittura inglese contemporanea così si esprimeva:

Il rebus aneddottico d'Hogarth da una parte e il rebus psicologico di Burne-Jones dall'altra; tutta la pittura inglese oscilla tra questi due termini che sembrano estremi e che pertanto si toccano se si considera quanto sono lontani dal punto di vista normale da cui deve essere trattato un soggetto plastico. E la volontà che un esteta gusta nell'indovinare il senso di un rebus di Burne-Jones assomiglia

⁷⁵ Fustel de Coulanges, 1872, p. 251.

⁷⁶ Misland, 1874; Fouillée, 1875 e 1880; Janet, 1874. La fonte principale del ricorrente tema della distinzione tra cultura francese e cultura inglese furono probabilmente i lavori di Taine, soprattutto Taine, 1864 a e 1864 b.

molto al piacere che coglie qualche burocrate nel penetrare il segreto di quei piccoli quadretti simbolici che si trovano all'ultima pagina dei giornali illustrati. Sicuramente questo piacere è legittimo, ma non è per nulla estetico e non può servire da metro di giudizio per opere d'arte ... Non abbandoniamo, non abbandoniamo mai le belle qualità francesi di logica, ordinamento, armonia, semplicità e misura che furono italiane, furono spagnole, che furono anche fiamminghe nei periodi in cui l'Italia, la Spagna le Fiandre si trovarono, di volta in volta, le terre disseminate dal dio sconosciuto che dona gli artisti o servirono d'asilo a quel vagabondo che si chiama genio⁷⁷.

Sicuramente Duhem piú d'ogni altro trasportò questa storiografia nazionalista entro l'ambito della fisica, ma, anche se non è dato il caso di riscontrare un altro esempio di scienziato francese che con tanta veemenza, ma anche con tanta ampiezza di argomenti, sottolineasse le diverse tradizioni francese, inglese e poi tedesche, le sue convinzioni circa l'esistenza di queste tradizioni e le notevoli differenze che le separavano non sono affatto rare tra gli altri scienziati. Il nazionalismo in campo scientifico era una tradizione ben presente nella scienza positivista, soprattutto attenta a quanto accadeva in Germania. Paul ha dedicato un apposito studio all'argomento concludendo che « La teoria degli stili nazionali di pensiero scientifico... era comune tra gli scienziati francesi di questo periodo e esercitò una precisa influenza sulle decisioni che influenzarono in modo vitale il corso della scienza »⁷⁸. I virulenti attacchi alla scienza tedesca che si scatenarono al tempo del conflitto mondiale (in risposta ad assalti altrettanto virulenti da parte tedesca) dimostrarono quanto la comunità scientifica francese fosse permeata di nazionalismo, ma dimostrarono anche come Duhem, a differenza della totalità dei suoi colleghi, fosse in grado di sostenere il proprio discorso con serie e meditate argomentazioni storiche e metodologiche, andando ben al di là della livida invettiva cui si limitarono tutti gli altri⁷⁹.

In particolare tutta la comunità scientifica in Francia era stata vi-

⁷⁷ De La Sizeranne, 1895, p. 411.

⁷⁸ Paul, 1972a, p. 14. Altri studi sull'argomento sono Carré, 1947; Kohn, 1956; Digeon, 1959; Crosland, 1977; Malley, 1979.

⁷⁹ Cfr. l'importante volume collettivo Petit-Leudet, 1916, e inoltre Roustan, 1914; Boutroux, 1914; Bergson, 1915; Picard, 1916. Per informazioni sull'atteggiamento della cultura tedesca cfr. Schwabe, 1961; Fischer, 1967; McCormach, 1982. Per un sintetico panorama cfr. Kevles, 1971. Per valutare appieno l'equilibrio che seppe mantenere Duhem vanno confrontati anche Duhem, 1916 a e 1916 b, ove ben piú accettabile pare la sua posizione che non negli scritti dell'anno precedente.

vamente colpita dai nuovi caratteri della fisica inglese. Che esista una fisica inglese è convinzione espressa da Poincaré, come si è già visto ampiamente nel capitolo precedente, dal gruppo raccolto attorno a Le Roy, da un pragmatista transfugo del tomismo e accanito avversario del modernista Le Roy come Sorel, da Abel Rey⁸⁰. Vi fu anche chi rilanciò il discorso spingendo ad una distinzione ancor piú « fine » tra tradizioni locali. Cosí Brunhes scriveva nel 1908: « Ogni confronto generale tra le manifestazioni dello *spirito inglese* nella fisica da una parte, nella legislazione, la filosofia o la politica, richiederebbe di essere completato con un confronto dei caratteri che differenziano in questi differenti domini di attività lo *spirito scozzese* dallo spirito propriamente *inglese* »⁸¹.

Anche fuori di Francia era assai diffusa la convinzione che ogni paese, almeno tra quelli piú importanti, fosse caratterizzato da un proprio stile scientifico⁸². E questo non era soltanto un riflesso ideologico dell'acceso nazionalismo che tanto peso ebbe su tutte le manifestazioni della cultura europea nell'epoca dell'imperialismo, ma trovava precise risposdenze in analisi storiografiche ricche e articolate quale quella rappresentata dalla grande *History of European Thought in the nineteenth Century* (1904-1912) del Merz, nella quale la ricostruzione del pensiero scientifico ottocentesco era impostata secondo uno schema che si reggeva sull'analisi differenziata delle tradizioni differenti operanti in Francia, Germania e Inghilterra.

Dopo un periodo di notevole offuscamento nel Novecento il tema dei caratteri nazionali assunti dalla scienza nel suo sviluppo storico viene oggi ripreso da piú parti e le piú recenti ricerche confermano, certo arricchendolo, precisandolo e correggendolo, il giudizio dato da Duhem sulla particolarissima forma assunta dal modellismo anglosassone nell'Ottocento, la forma di un modellismo che non ha pretese esplicative, ma vuol solo facilitare la comprensione delle teorie astratte, le vuole illustrare con esempi tangibili composti da elementi familiari⁸³.

È questo il meccanicismo cui si oppone la critica duhemiana, non il meccanicismo ontologico del quale tanto spesso si discorre nella storiografia. Con questo non voglio certo sostenere né che non vi fossero alla fine del XIX secolo scienziati fermamente convinti del valore fon-

⁸⁰ Cfr. D'Adhémar, 1906; Sorel, 1905, p. 870; Rey, 1907 a.

⁸¹ Brunhes, 1908, p. 255.

⁸² Cfr. Dolby, 1977.

⁸³ Cfr. la bibliografia citata nel I Capitolo sulla fisica inglese.

dante in senso ontologico della meccanica, né che vi siano stati seri critici di questa forma di meccanicismo. Esempi del primo genere possono essere considerati, tanto per rimanere in Francia, Violle, Verdet, Jamin, Cornu, Brunhes⁸⁴, mentre per gli esempi di critica al meccanicismo ontologico balza ovviamente agli occhi la figura di Mach, la cui celeberrima critica al meccanicismo è tutta giocata sulla confusione fatta dai pensatori meccanicisti tra teoria e realtà, sulla ipostatizzazione dei concetti (quindi anche dei modelli) della meccanica. Ma l'opera di Mach, se pur grande, fu solo un aspetto della critica al meccanicismo ed è tutto da dimostrare che Mach fosse al corrente dei più recenti sviluppi della fisica tanto quanto Duhem o Poincaré. La critica machiana pare colpire efficacemente il meccanicismo di un Helmholtz o di un Du Bois Reymond (che del resto erano i suoi reali bersagli), cioè il meccanicismo *tedesco* della seconda metà del secolo, ma non affronta il meccanicismo di stile anglosassone che si afferma nell'ultima parte del secolo. Interpretare la « crisi del meccanicismo » solo attraverso le pagine di Mach getta evidentemente una luce soltanto parziale sul problema⁸⁵.

A ben vedere la critica che Duhem rivolge a quella particolare forma di meccanicismo che proveniva d'Oltremania è per un certo riguardo opposta a quella di Mach: non solo gli inglesi non vengono accusati di attribuire ai propri modelli una portata reale, ma, al contrario, l'accusa di fondo rivolta alla fisica di Kelvin e di Maxwell è proprio quella di aver rinunciato programmaticamente alla costruzione di una scienza che abbia una presa sulla realtà. Il « convenzionalista » Duhem rimprovera ai « meccanicisti » Kelvin e Maxwell di ridurre la scienza a puro strumento classificatorio. Ben lungi dall'apparire ontologico il meccanicismo « che conta » è per Duhem una pericolosissima variante dello strumentalismo!

Questa conclusione può apparire paradossale, ma trova una precisa conferma non solamente, come si è già detto nel capitolo precedente, nella polemica contro la fisica inglese precedente la *Théorie Physique*, ma pure, in modo assolutamente limpido, anche in questo testo, tanto citato, ma, evidentemente, raramente letto con scrupolo. Qui infatti, dopo aver ripetuto ancora una volta le sue ormai classiche accuse agli

⁸⁴ Cfr. Cap. I, pp. 59-60, oltre a Brunhes, 1908.

⁸⁵ Per un esame più approfondito della posizione machiana si veda il V Capitolo.

inglesi circa la scarsa cura che pongono nel definire con esattezza i termini impiegati, il disinteresse per la concatenazione logica di una teoria, dopo aver attribuito il successo della fisica inglese alla diffusione dell'industrialismo e delle conseguenti aumentate richieste per una formazione piú pratica che teorica, ed aver negato, con una serie di esempi storici, come non sia vero che l'uso di considerazioni modellistiche abbia avuto importanti funzioni euristiche molto frequentemente nel corso della storia della scienza, Duhem passa, a conclusione della prima parte del volume, a discutere la vera obiezione di fondo, l'unica probante, che ai suoi occhi va rivolta alla fisica inglese: quella di ridurre la scienza a un insieme di schemi classificatori con funzioni utilitaristiche. Vengono riprese alla lettera le parole scritte nel 1893 in *L'école anglaise et les théories physiques*:

Se ci si limita ad invocare le sole ragioni della pura logica, non si può impedire ad un fisico di rappresentare per mezzo di varie teorie inconciliabili sia degli insiemi differenti di leggi, sia anche un solo gruppo di leggi, non si può condannare l'incoerenza nella teoria fisica⁸⁶.

Se si ammette che una teoria fisica non ha funzioni esplicative, ma è un sistema di classificazione, non si può apparentemente negare ad un fisico il diritto di impiegare diversi procedimenti di classificazione. Ma per Duhem esistono due modi ben diversi di intendere il termine « strumento di classificazione » e ciò era già stato posto in bella evidenza nel secondo capitolo, quello in cui viene illustrata la concezione delle teorie quali teorie rappresentative. Questo capitolo, in cui Duhem enuncia la propria idea circa cosa sia una teoria scientifica, idea che sarà poi svicerata nella seconda parte del libro, è sovente considerato come una ripetizione, una traduzione francese delle concezioni di Mach. Esso è invece in polemica con Mach.

Di Mach era stata tradotta nel 1904 la *Mechanik* e subito egli era divenuto personaggio assai noto; Duhem per questo assume Mach come il piú conosciuto e prestigioso sostenitore della concezione rappresentativa delle teorie che intende la classificazione come semplice strumento per realizzare una « economia intellettuale » al fine di polemizzare con la sua concezione, riproponendo la propria idea che le teorie siano sí strumenti di classificazione, non esplicative, ma che oltre all'economia

⁸⁶ Duhem, 1906 a, p. 161.

ci permettano di conseguire anche una reale conoscenza, avviandosi nel loro divenire storico verso una classificazione sempre meno artificiale e sempre piú naturale:

La teoria fisica non ci dà mai la spiegazione delle leggi sperimentali, mai ci rivela le realtà che si nascondono dietro le apparenze sensibili; ma piú si perfeziona, piú noi sentiamo che l'ordine logico secondo cui essa dispone le leggi sperimentali è il riflesso di un ordine ontologico; piú noi sospettiamo che i rapporti che essa stabilisce tra i dati dell'osservazione corrispondono a dei rapporti tra le cose; piú noi indoviniamo che essa tende ad essere una classificazione naturale⁸⁷.

Questa convinzione non è certo provabile né con la logica né con il metodo scientifico, ma il fisico non riesce a sottrarvisi. È una di quelle « ragioni del cuore » che, per dirla con Pascal, « la ragione non conosce »⁸⁸ e che però può essere almeno suffragata se non altro dalla capacità tanto spesso dimostrata dalla scienza, di previsione. È solo la fiducia in questa convinzione a far sí che la ricerca di teorie non sia un « bisogno vano e ozioso », come in fondo sostengono i partigiani del nuovo modellismo⁸⁹. E solo ammettendo questa seconda accettazione di « classificazione » si può, per Duhem, respingere il modellismo anglosassone. Infatti, ammettendo, con Mach, che la teoria abbia esclusivamente funzione economica, non è lecito attribuire una preferenza assoluta alle teorie astratte, perché un tale apprezzamento risulta inevitabilmente dipendere da un giudizio soggettivo: per i francesi saranno generalmente piú soddisfacenti, piú economiche, le teorie astratte, mentre gli inglesi « troveranno che il lavoro logico considerevole che coordina in un sistema unico diversi frammenti della teoria causa piú fatica della visione di questi frammenti disgiunti » e non giudicheranno affatto economica una teoria astratta⁹⁰.

« Né il principio di contraddizione, né la legge dell'economia di pensiero ci permettono di provare in modo irrefutabile che una teoria fisica deve essere logicamente coordinata »⁹¹.

Ancora una volta bisogna far ricorso alla soluzione piú prospettata sin dal 1893. Che una sola teoria unitaria sia preferibile a piú teorie

⁸⁷ *Ibid.*, p. 38.

⁸⁸ *Ibid.*, p. 39.

⁸⁹ *Ibid.*, p. 43.

⁹⁰ *Ibid.*, p. 163.

⁹¹ *Ibid.*, p. 164.

discoordinate è una convinzione presente in tutti i fisici, anche negli inglesi, che solo a malincuore rinunceranno all'unitarietà perché costretti dagli insuccessi dei tentativi di dare una teoria unitaria: « Ogni fisico aspira naturalmente all'unità della scienza; è per questo motivo che l'impiego di modelli disparati e incompatibili è stato proposto solo da pochi anni »⁹².

Questa aspirazione all'unità è « l'inseparabile compagna » di un'altra aspirazione, di una « potenza irresistibile », quella verso la costruzione di una teoria che sia una classificazione naturale: è infatti la convinzione che le teorie debbano in qualche modo riflettere una struttura di rapporti obiettivi che ci spinge a preferire teorie unitarie e ordinate: « Noi sentiamo in effetti che se i rapporti reali delle cose, irraggiungibili con i metodi che impiega il fisico, si riflettono in qualche modo nelle nostre teorie fisiche, questo riflesso non può essere privo né di ordine né di unità »⁹³.

Rispetto alle pagine scritte nel 1893 vi è nella *Théorie* la scomparsa del riferimento ai vari gradi di perfezione che possono avere le teorie e i metodi del fisico per l'ovvia problematicità che presenta la nozione di « perfezione », ed è rimasta la sola base socio-psicologica: l'aspirazione all'unitarietà e alla classificazione naturale, patrimonio del « senso comune », sono presenti in tutti gli scienziati. Vi è il recupero dell'idea enunciata in *Physique et Metaphysique* secondo cui le fondamentali regole del metodo sperimentale sono « principi chiari ed evidenti di per se stessi » legittimati dal senso comune:

Al fondo delle nostre dottrine piú chiaramente enunciate, piú rigorosamente dedotte, noi troviamo sempre un insieme confuso di tendenze, di aspirazioni, di intuizioni; nessuna analisi è sufficientemente penetrante da separare le une dalle altre, da decomporle in elementi piú semplici; nessun linguaggio è abbastanza preciso ed elastico per definirle e formularle; e tuttavia le verità che questo senso comune ci rivela sono cosí chiare e cosí certe che noi non possiamo né misconoscerle, né porle in dubbio; al contrario, ogni chiarezza e ogni certezza scientifica è il riflesso della loro chiarezza e un prolungamento della loro certezza⁹⁴.

Il senso comune sostiene la ragione là ove essa è impotente nella condanna dell'incoerenza in fisica.

Si dovrà con ampiezza tornare piú avanti sulla nozione di senso co-

⁹² Ivi.

⁹³ *Ibid.*, p. 166.

⁹⁴ *Ibid.*, pp. 166-7.

mune e sulle funzioni che ad essa assegna Duhem; per ora va sottolineato che grazie ad essa Duhem conclude l'intera discussione sull'oggetto della teoria fisica con la riaffermazione della validità di una concezione conoscitiva della scienza. La nozione di classificazione naturale è l'arma, la sola, che permette di combattere lo strumentalismo, tanto nella sua variante fenomenista rappresentata dal machismo, quanto nella variante modellistica degli inglesi e di Poincaré. La critica del meccanicismo così come esso si era venuto configurando nel corso dell'ottocento termina così in Duhem, celebre « critico del meccanicismo », con un elogio della scienza che conosce il mondo, con un rifiuto dello strumentalismo e termina anche, cosa che dovrebbe costituire oggetto di riflessione per i tanti teorici della « crisi delle scienze », senza neppure aver sfiorato il tema della « disfatta dei principi » della meccanica, a riprova di come l'atteggiamento di Duhem nascesse piú che dalla constatazione di difficoltà presenti nella scienza meccanicista, dalla convinzione che si fosse reso disponibile, con la termodinamica generalizzata, un nuovo modello di scientificità di grande successo.

Ma sino ad ora il discorso duhemiano non è sceso in profondità nella struttura delle teorie, si è limitato a contrapporre in linea di principio varie concezioni generali della natura delle teorie scientifiche e a valutarne le ragioni. La sua nozione di scienza che tende verso una classificazione naturale è rimasta legata solo alle ragioni del senso comune, non supportata dalla critica epistemologica, né confrontata con essa. Anzi Duhem si è già cautelato, preannunciando che la pura analisi logica delle teorie non è in grado di provare quella intuizione. Si apre dunque un fondamentale problema: le analisi epistemologiche, quelle analisi che hanno reso tanto celebre e vitale il pensiero di Duhem, quali condizioni di esistenza creano per una concezione conoscitiva della scienza? L'epistemologia duhemiana non è forse inconciliabile con l'idea di classificazione naturale, e questa non è forse una pura aggiunta ideologica estrinseca all'indagine epistemologica? Molti, se non tutti gli interpreti di Duhem hanno risposto affermativamente a queste domande. In Duhem una risposta si può trovare nella seconda parte della *Théorie*, quella dedicata alla « struttura della teoria fisica ».

4. - I FENOMENI E LA MATERIA.

La storia del pensiero occidentale è ricca di episodi, che vanno da Rousseau al romanticismo, fino alla scuola di Francoforte, di critica allo « strapotere » conoscitivo conferito alla matematica dai fondatori seicenteschi della scienza moderna. Le concezioni fenomeniste maturatesi nella seconda metà dell'Ottocento entro la ricerca scientifica possono per certi versi essere accostate a quel grande filone, a patto però di compiere anche le dovute distinzioni. Non basta infatti che un pensatore rivendichi spazio alla nozione di qualità accanto a quelle di quantità per farne un critico dell'impiego della matematica nei processi di comprensione del mondo. Anche nelle più prestigiose opere scientifiche, da quella di Newton a quella di Lavoisier, a quella di Laplace, vi era stato posto per una differenziazione qualitativa degli enti materiali, ma ciò non aveva ugualmente comportato un atteggiamento contrario alla matematica. Lo stesso deve dirsi del fenomenismo di un Mach, un Ostwald, e, a maggior ragione, dell'opera di Duhem. Per costoro, infatti, il recupero di una dimensione qualitativa non significò affatto la rinuncia alla enorme mole di conoscenze e metodologie patrimonio della fisica matematica. Per Duhem

Creata nel XVII secolo, la fisica matematica ha provato quale fosse il sano metodo fisico per mezzo degli incessanti e prodigiosi progressi fatti nello studio della natura. Oggi sarebbe impossibile, senza urtare il buon senso più volgare, negare che le teorie fisiche si debbano esprimere in linguaggio matematico⁹⁵.

L'impiego della matematica quale strumento linguistico privilegiato e insostituibile nella scienza rappresenta una caratteristica che non permette di identificare il recupero del qualitativo compiuto dal fenomenismo ispirato dalla termodinamica con una critica neoromantica alla matematica del mondo. Solo misconoscendo questo netto discrimine si possono rimescolare in un unico impasto antimeccanicista Mach e Nietzsche, Musil e Einstein, la termodinamica e Sherlock Holmes.

Da parte di Duhem il recupero della categoria della qualità avviene entro un orizzonte rigorosamente delimitato da una critica interna alle procedure definitorie impiegate dalla scienza, con particolare riguardo, ancora una volta, alla termodinamica. Non vi è alcuna concessione, nep-

⁹⁵ *Ibid.*, p. 172.

pure linguistica, all'attacco alla matematica che in quegli anni stava compiendo con grande clamore in Francia il bergsonismo, tutto impegnato ad eliminare la matematica dal campo della conoscenza e a confinarla nel dominio di quanto è puramente strumentale⁹⁶. Al contrario Duhem indica nell'uso della matematica al contempo il sintomo e la causa della superiorità della scienza sulla filosofia:

L'esperienza di secoli è lì per dimostrarci come i paralogismi si nascondono facilmente nelle catene dei sillogismi in apparenza le più irreprensibili. Vi è tuttavia una scienza ove la logica ha raggiunto un tale grado di perfezione che rende l'errore facile da evitare, facile da riconoscere allorquando è stato commesso: questa è la scienza dei numeri, l'aritmetica, con l'algebra che ne è il prolungamento ... Questo linguaggio rapido e preciso assicura all'algebra un progresso che ignora, o quasi, le dottrine opposte e le lotte tra le scuole ... La fisica non diverrà mai una scienza chiara, precisa, esente dalle perpetue e sterili dispute ... capace di imporre alle proprie dottrine il consenso universale, fino a che non parlerà il linguaggio dei geometri⁹⁷

Ciò che Duhem combatte è la convinzione, a suo parere caratteristica del meccanicismo *seicentesco*, che si possa parlare matematicamente solo della quantità e che invece alla qualità il linguaggio matematico non si possa applicare. Questa convinzione si fonda su di un'altra credenza, quella circa la natura puramente quantitativa delle proprietà reali dei corpi. La fisica moderna, pur ammettendo nel proprio linguaggio solo simboli matematici, non afferma che tutto è quantità al fondo della realtà e si preoccupa di non far scomparire le qualità, riducendole a un substrato quantitativo, ma cerca di descriverle, di parlarne nel linguaggio dei numeri: « Il carattere puramente qualitativo di una nozione non si oppone a che i numeri servano a raffigurare i suoi diversi stati »⁹⁸.

In questo consiste il recupero delle qualità compiuto da Duhem: egli sottolinea (in un contesto filosofico che chiarirò più avanti) che l'impiego del linguaggio numerico è cosa ben diversa dalle procedure di riduzione tipiche del meccanicismo. Esprimendo le qualità attraverso i numeri noi compiamo un lavoro di traduzione, di simbolizzazione, non dichiariamo le qualità « apparenze », non le facciamo scomparire riducendole ad una realtà più profonda di tipo quantitativo. Una volta tradotte in

⁹⁶ Cfr. Mondella, 1974.

⁹⁷ Duhem, 1906 a, p. 172.

⁹⁸ *Ibid.*, p. 186.

simboli algebrici un certo numero di qualità fenomeniche, di proprietà fisiche, esse potranno nella teoria venire considerate come proprietà primarie, non riducibili ad altre. Certo si tratta di cercare di ridurre al minimo queste qualità primarie, ed infatti i fisici sono sempre molto restii a introdurre nuove qualità. Così, ad esempio, ben ha fatto Poisson a cercare di spiegare gli effetti elettrodinamici scoperti da Ampère in termini di una qualità già nota, quella della carica dei corpi, cioè in termini elettrostatici. Solo gli insuccessi di questo e simili tentativi hanno costretto i fisici ad attribuire alle diverse parti di un filo collegato ai poli di una batteria una proprietà irriducibile alla elettrizzazione, una nuova qualità primaria « di cui si esprimerà l'esistenza dicendo che il filo è percorso da corrente »⁹⁹. Ogni qualità primaria lo è di fatto, in quanto non si è riusciti a ridurla ad altre qualità, e dunque va considerata primaria solo a titolo provvisorio, perché nulla vieta che essa possa un giorno essere ridotta ad altro. L'essenziale è comunque guardarsi dall'errore del meccanicismo di considerare le qualità solo apparenze e quindi non essere soddisfatti di teorie nelle quali non sia scomparsa ogni differenziazione qualitativa tra le proprietà della materia.

Noi produciamo un collegamento tra una qualità e il mondo dei numeri attraverso delle definizioni, non tramite delle procedure riduttive. Classico esempio è la traduzione delle sensazioni qualitative di caldo e di freddo tramite la definizione di temperatura: « Noi potremmo, nei nostri ragionamenti, parlare di questa qualità, il caldo, e delle sue diverse intensità, ma, desiderosi di impiegare nella maggior misura possibile il linguaggio dell'algebra, noi sostituiamo alla considerazione di queste qualità, il c a l d o , quella di un simbolo numerico, la t e m p e r a t u r a »¹⁰⁰.

La traduzione numerica delle intensità di cui è suscettibile una qualità avviene attraverso l'impiego di uno strumento di misura e la costruzione di una opportuna scala, nel caso del caldo grazie all'uso di un termometro. In questo modo la definizione numerica di una qualità risulta indissolubilmente connessa ad uno strumento e la definizione per mezzo della quale essa entra nel discorso della fisica teorica è specificata dal riferimento allo strumento impiegato. Senza questo riferimento alle procedure di misurazione il

⁹⁹ *Ibid.*, p. 205.

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 187.

concetto numerico con cui noi traduciamo una qualità numericamente si ridurrebbe ad un vuoto simbolo.

Allo stesso modo che una grandezza non è per nulla definita semplicemente da un numero astratto, ma per mezzo di un numero congiunto alla conoscenza concreta di un metro, analogamente l'intensità di una qualità non è interamente rappresentata da un simbolo numerico; a questo simbolo deve essere congiunto un procedimento concreto adatto ad ottenere la *scala* di queste intensità. Solo la conoscenza di questa scala permette di dare un senso fisico alle proposizioni algebriche che enunceremo a proposito dei numeri che rappresentano le diverse intensità della qualità studiata¹⁰¹.

È superfluo sottolineare come queste pagine di Duhem anticipino con grande chiarezza quella che sarà poi l'idea di fondo dell'operazionismo: il significato di un concetto scientifico è dato da una serie di operazioni, in particolare, per i concetti delle scienze esatte, da operazioni di misura. Vi è però una prima differenza di fondo con l'operazionismo che va sottolineata: per Duhem la definizione « operativa » non è una richiesta che si possa avanzare lecitamente per tutti i concetti scientifici. Essa ha senso solo per quei concetti che costituiscono la traduzione numerica di qualità fenomeniche, proprietà fisiche di cui il teorico si vuole occupare. Questo tipo di definizione è il ponte che pone a contatto il mondo dei fenomeni con il mondo della teoria matematizzata, ma entro questo secondo mondo trovano pieno diritto di cittadinanza anche concetti che non sono definibili in termini di procedure di misurazione.

Prima però di passare a prendere in considerazione questo aspetto fondamentale dell'epistemologia duhemiana sarà utile fare cenno ad un significativo mutamento intervenuto nella trattazione fatta da Duhem delle procedure di definizione delle grandezze fisiche. Questo discorso era stato affrontato già nel 1892 in *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* in termini poi ripresi quasi alla lettera nella *Théorie*. Di quel testo, però, nel 1906 Duhem eliminò vari passi nei quali veniva sottolineato il carattere « convenzionale » ed « arbitrario » delle definizioni tramite strumenti. Così, egli aveva scritto: « Le definizioni fisiche costituiscono un vero vocabolario: come un dizionario francese è un insieme di *c o n v e n z i o n i* che fanno corrispondere a ogni oggetto un nome, analogamente, in una teoria fisica le definizioni sono un insieme di *c o n v e n z i o n i* che fanno corrispondere una grandezza a ogni no-

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 190.

zione fisica ». La definizione è « arbitraria » e si possono « avere una infinità di definizioni per una nozione »¹⁰².

La scomparsa di questi passi ed altri consimili, la stessa attenzione che Duhem mostra nell'evitare per tutta la *Théorie* di impiegare il pericoloso ed inflazionato termine di « convenzione » mi paiono spiegabili solo alla luce di uno degli obiettivi di fondo che Duhem si proponeva con la pubblicazione del libro, cioè la lotta alla ventata di scetticismo strumentalista che, partendo anche dalle sue considerazioni epistemologiche giovanili, aveva investito la cultura francese. Proprio il discorso duhemiano sul ruolo degli strumenti nella definizione dei concetti era stato fatto proprio dalla corrente ispirata da Le Roy per sostenere che al variare dello strumento impiegato cambiano concetti, risultati delle misure, forma delle leggi e proprio su questo punto Le Roy aveva avuto anche una polemica con Couturat¹⁰³. Visto lo stato del dibattito in Francia, è assai probabile che la riproduzione di certi suoi passi giovanili avrebbe condotto molti a identificare Duhem con le posizioni di Le Roy, e per questo i passi furono soppressi.

Tuttavia l'impiego insostituibile ed ineliminabile degli strumenti nella definizione dei concetti e nella creazione di un nesso tra linguaggio matematico e fenomeno pone comunque Duhem di fronte a un grave problema di indeterminazione, un pericoloso varco per lo scetticismo.

Ogni esperienza, per essere introdotta nei calcoli della teoria, va tradotta in termini numerici con l'aiuto di strumenti. Viceversa, ogni conclusione teorica, per essere messa alla prova, va tradotta, sempre con lo stesso intermediario, nel linguaggio che descrive l'esperienza concreta. Ogni fatto pratico va tradotto in un fatto teorico e viceversa.

Ma chi traduce, tradisce, traduttore, traditore; non vi è mai adeguamento completo tra i due testi che una versione fa corrispondere all'altra. Tra i fatti concreti, tali quali il fisico li osserva, e i simboli numerici per mezzo dei quali questi fatti sono rappresentati nei calcoli del teorico, la differenza è estrema¹⁰⁴.

Fondamentalmente nel fatto teorico non vi è nulla di vago o di indeciso, tutto è determinato in modo preciso; di contro, nel fatto pratico

¹⁰² Duhem, 189 a, pp. 143-4 (corsivi miei).

¹⁰³ Couturat, 1900.

¹⁰⁴ Duhem, 1906 a, p. 215.

interviene una ineliminabile approssimazione dovuta ai responsi degli strumenti che sono sempre distribuiti su tutto un intervallo, piú o meno grande in dipendenza dalla precisione dello strumento, ma mai nullo. Per questo motivo uno stesso fatto pratico può sempre essere tradotto in una infinità di fatti teorici differenti: « Dire che la temperatura di un corpo è di 10° , o $9^\circ,99$, o $10^\circ,01$ significa formulare tre fatti teorici incompatibili ma questi tre fatti teorici incompatibili corrispondono a un solo e medesimo fatto pratico, se la precisione del nostro termometro non raggiunge il cinquantesimo di grado »¹⁰⁵.

Dalla considerazione che l'esperienza (il fatto pratico) non determina univocamente la teoria sarebbe facile concludere (come fu effettivamente fatto) che lo scienziato è libero di scegliere tra le infinite possibili traduzioni teoriche quella che piú gli aggrada¹⁰⁶, ma non è questo esito soggettivista quello che interessa Duhem. Egli sottolinea che se l'esperienza non ci permette di scegliere, allora è del tutto inutile scegliere. È del tutto « ozioso » il lavoro di chi si occupa di due schemi teorici differenti quando entrambi conducono a conclusioni non distinguibili l'una dall'altra, in quanto la loro differenza sta al di sotto dei limiti che la precisione degli strumenti consente di apprezzare:

In questo caso la deduzione matematica avrà perso la sua utilità; ...una deduzione matematica tratta dalle ipotesi su cui riposa una teoria può esser utile o oziosa a seconda che le condizioni praticamente date dall'esperienza le permettano o no di trarre la previsione praticamente determinata del risultato¹⁰⁷.

Se la scelta entro un certo gruppo di funzioni differenti ma assai vicine, tra un « fascio di fatti teorici », è un problema ben definito per il matematico, può divenire un problema « privo di ogni senso per il fisico », se il grado di precisione degli strumenti a disposizione non consente di discriminare tra di esse. Ogni funzione matematica esprimente una legge fisica non può essere confermata che in modo approssimativo dall'esperienza, alla pari di tante altre funzioni.

Ogni legge fisica è una legge approssimata, di conseguenza, a rigor di logica, essa

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 217.

¹⁰⁶ Com'è ben noto fu Le Roy il massimo assertore della libertà dello scienziato di « creare i fatti ». Per piú precisi riferimenti cfr. Capitolo V.

¹⁰⁷ Duhem, 1906 a, p. 221.

non può essere né vera né falsa; ogni altra legge che rappresenti le stesse esperienze con la stessa approssimazione può pretendere, altrettanto giustamente quanto la prima, al titolo di legge vera o, per parlare più rigorosamente, di legge accettabile¹⁰⁸.

Se il mondo della matematica è il mondo della precisione, il mondo della fisica è il mondo dell'approssimazione, del pressapoco. Problemi sensati per il matematico sono insensati per il fisico che può porsi solo i problemi che gli sono consentiti dai limiti di approssimazione degli strumenti disponibili.

Se altri sottolineavano la libertà di scelta che lasciano gli strumenti al teorico, esaltando così il soggettivismo presente nelle « verità » che la scienza ci propone, Duhem si preoccupa soprattutto, lui che pure era stato il primo in *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* a sollevare il problema, di sottolineare come siano gli strumenti, l'esperienza, ad imporre allo scienziato, al soggetto, limiti precisi entro cui egli si deve muovere. Per il fisico il termine verità può avere un solo significato: esso esprime « la concordanza tra le conclusioni della teoria e le regole stabilite dagli osservatori »¹⁰⁹. Se queste regole non consentono di attribuire la verità ad una particolare legge, lo scienziato non potrà allora attribuire a quest'ultima un ruolo privilegiato. Già nel 1892 aveva affermato: « In fisica, due leggi differenti per la forma devono essere considerate identiche se i loro scarti non possono essere constatati per mezzo dei metodi di osservazione di cui si dispone »¹¹⁰.

Tutta l'epistemologia di Duhem è attraversata da una chiara distinzione tra matematica e fisica che trova la sua origine nella nozione di approssimazione che, assente nella matematica, viene invece introdotta nella fisica dall'uso degli strumenti¹¹¹. Ciò pone un quesito che non è ben esplicitato in Duhem ma la cui risposta è chiaramente visibile: anche se dal punto di vista fisico può essere privo di senso attribuire la verità ad

¹⁰⁸ *Ibid.*, p. 280.

¹⁰⁹ *Ibid.*, p. 233.

¹¹⁰ Duhem, 1892 a, p. 150.

¹¹¹ Pierre Boutroux indicò proprio in questa distinzione la maggior debolezza teorica di Duhem, accusandolo di avere una visione del tutto irrealistica della matematica (Boutroux, 1907). In effetti Duhem ebbe sempre una concezione idealizzata della matematica, concepita come pensiero dotato di rigore e chiarezza assoluti e in quanto tale da ammirare, certo, ma anche da considerarsi poco interessante sia dal punto di vista epistemologico che storico. Cfr. Duhem, 1912.

una legge piuttosto che ad un'altra, sta di fatto che lo scienziato solitamente sceglie. In base a quali criteri lo fa? Che senso attribuire a questa scelta? Poiché quello che, al fondo, guida l'opera del fisico è l'esperienza, la risposta passa necessariamente attraverso una analisi di ciò che per Duhem è un'esperienza in fisica.

5. - LA NOZIONE DI ESPERIMENTO IN FISICA.

La critica che Duhem compì della nozione di esperimento scientifico è senza dubbio la parte piú nota e discussa della sua intera opera. Si è visto nel precedente capitolo quali circostanze furono all'origine della prima formulazione delle idee di Duhem su questo problema. Si trattava di una mescolanza di fattori in apparenza assai strana: Duhem voleva combattere la concezione positivista di oggettività fondata sull'esperimento e le esperienze di Hertz a conferma della teoria di Maxwell; cultura vecchia, quindi, e cultura nuova. Nel pensiero di Duhem però non vi era alcuna contraddizione a questo proposito, perché l'interpretazione delle esperienze di Hertz quali prova definitiva, decisiva, in favore della concezione elettromagnetica della luce riproduceva la fiducia tipica del positivismo negli esperimenti « cruciali ». Nella *Théorie* i riferimenti a Hertz sono scomparsi ed è palese solo la critica ai pensatori piú prestigiosi del positivismo come Claude Bernard¹¹² e Regnault, ma la conoscenza dell'evoluzione del pensiero di Duhem non lascia dubbi circa l'obiettivo occulto della sua polemica.

Nella sua critica Duhem segue il percorso tradizionalmente seguito da ogni analisi epistemologica positivista o induttivista: analisi dell'esperimento, delle leggi, delle teorie. L'esito cui egli giunge è però quello di rovesciare la successione: dal punto di vista epistemologico ciò che è prioritario sono le teorie non l'esperienza, lo scienziato non è colui che parte dall'esperienza per giungere a formulare teorie; al contrario, è colui che già possiede un bagaglio teorico e compie esperienze per precisarlo e arricchirlo.

Ogni esperienza, infatti, e lo si è già visto, comporta di necessità una interpretazione. Se in precedenza Duhem aveva sottolineato come la necessaria traduzione del fatto pratico nel fatto teorico faccia passare

¹¹² La polemica di Duhem è contro Bernard, 1865, uno dei piú significativi testi metodologici dell'età positivista. Su Bernard cfr. Grmek, 1973.

dal mondo del pressapoco al mondo della precisa determinazione matematica, ora passa a sottolineare le condizioni e le modalità con cui quel passaggio si compie, come lo scienziato sceglie una delle infinite traduzioni teoriche possibili dello stesso fatto pratico. Ciò che dalla sua analisi emerge è il ruolo decisivo della teoria.

Ogni esperienza fisica comporta in primo luogo l'osservazione di certi fatti, e per far questo è sufficiente essere attenti e con i sensi ben svegli e « il direttore del laboratorio può essere meno abile del garzone »¹¹³. Occorre però anche, e questo è evidentemente il lavoro di gran lunga più importante da svolgere, interpretare i fatti osservati, cioè « sostituire ai dati concreti realmente raccolti per mezzo dell'osservazione alcune rappresentazioni astratte e simboliche che loro corrispondono in virtù delle teorie che l'osservatore ammette »¹¹⁴. Senza conoscenze teoriche nessuna interpretazione è mai possibile. Quando Regnault (e l'esempio non è casuale perché Regnault era stato il più prestigioso fisico francese dell'età positivista) studia la comprimibilità dei gas osserva l'immagine di varie superfici di mercurio affiorare fino a certe tacche in vari strumenti, manovra alcune leve e osserva le corrispondenti oscillazioni delle varie superfici di mercurio. Nella relazione della sua esperienza egli non descrive però affatto superfici o leve in movimento, ma parla di volume, pressione e temperatura del gas. Ora, questi tre concetti non corrispondono ad oggetti concreti, sono simboli astratti che possono essere posti in connessione con i fatti osservati solo grazie a un insieme di conoscenze teoriche.

Ad esempio, per passare dal fatto osservato « affioramento del mercurio fino ad una certa tacca di un tubo per la misura del volume » al valore del volume occupato, occorre tarare il tubo, e questo può essere fatto solo da chi abbia una notevole cultura scientifica: occorre infatti usare nozioni di aritmetica e di geometria, fare appello alla nozione di massa, alle ipotesi della meccanica generale e della meccanica celeste che giustifica l'impiego della bilancia per il confronto tra le masse, conoscere il peso specifico del mercurio alla temperatura alla quale si è compiuta la misura e, per questo, occorre conoscere il suo peso specifico a zero gradi, cosa che non si può fare senza impiegare le leggi dell'idrostatica; conoscere la legge di dilatazione del mercurio, che si determina

¹¹³ Duhem, 1906 a, p. 235.

¹¹⁴ *Ibid.*, p. 238.

per mezzo di un apparecchio in cui compare una lente, cosa che presuppone certe leggi dell'ottica, « in modo che una moltitudine di capitoli della fisica precede necessariamente la formazione di questa idea astratta: il volume occupato dal gas »¹¹⁵.

Già la cultura positivista non aveva mancato di sottolineare quanto complessa fosse stata l'impresa di Regnault in apparenza piattamente osservativa e come la sua opera avesse richiesto il compimento di un intero programma di ricerca, lo sviluppo di tutta una serie di ricerche coordinate che convergevano verso la determinazione delle leggi dei gas. Ma a questo lavoro era considerato di natura prevalentemente sperimentale. Ad esempio Berthelot nel 1878, a proposito delle leggi dei gas determinate da Regnault, affermava:

Per definire queste leggi occorre definire le temperature, e queste riposavano esse stesse sulla conoscenza delle leggi di dilatazione dell'aria. Una volta stabilite queste con le sue esperienze dovette confrontare la dilatazione dell'aria con la dilatazione del mercurio, materia prima dei nostri termometri abituali; studiò la comprimibilità dei liquidi, l'igrometria, l'audiometria, tutte questioni connesse con il suo argomento principale; svolse un lungo e pericoloso lavoro sulle forze elastiche del vapor d'acqua, dalle più deboli pressioni che si possono osservare fino a una pressione di 28 atmosfere. Misurò infine i calori specifici dell'acqua liquida, solida e gassosa, e il calore necessario per ridurre l'acqua in vapore sotto diverse pressioni¹¹⁶.

Di contro a questa valutazione tutta sperimentale della complessità dell'opera di Regnault, Duhem esalta l'ineliminabile, anche se nascosta, complessità teorica.

Sono le teorie scientifiche comunemente ammesse che consentono di tradurre una esperienza concreta in un risultato significativo per la scienza. Ciò comporta come conseguenza che il giudizio sul risultato di una osservazione, l'espressione del fatto teorico, non solo è *a s t r a t t o*, cioè ha forma matematica che lo distingue chiaramente dal fatto pratico, ma è anche « *s i m b o l i c o* », cioè il legame tra di esso e l'esperienza, tra i simboli algebrici che ne rappresentano la traduzione e i fenomeni, è *prodotto da un insieme di teorie*. Le regole semantiche che conferiscono un significato ai segni algebrici non sono affatto semplici, per nulla esprimibili in un insieme di « regole di corrispondenza » connesse a un insieme più o meno vasto di « proposizioni protocol-

¹¹⁵ *Ibid.*, p. 237.

¹¹⁶ Berthelot, 1886, pp. 228-9.

lari » o consimili: esse inglobano intere teorie altamente sviluppate.

Ciò consente di precisare anche una fondamentale differenza tra Duhem e l'operazionismo: è vero che per Duhem la definizione di certi concetti fisici è costruita tramite l'impiego di uno o più strumenti di misura, una serie di operazioni, ma è anche vero che gli strumenti, le operazioni di misura, acquistano un senso solo attraverso delle teorie e pertanto il fondamento del significato di un concetto sta, in ultima analisi, nelle teorie, non negli strumenti o nelle operazioni di misura. Ad esempio, è vero che noi definiamo il concetto di pressione in un gas per mezzo di un manometro, ma questo strumento rinvia a sua volta a tutto un complesso di teorie:

Più complessa, più strettamente legata alle teorie più profonde della fisica è la genesi di un'altra idea astratta: il valore della pressione sopportata da un gas. Per definirla, per valutarla, è stato necessario usare nozioni così delicate, così difficili da conquistare come pressione, forza di legame; si è dovuto far appello alla formula del livellamento barometrico di Laplace, formula che si deriva dalle leggi dell'idrostatica; far intervenire la legge della comprimibilità del mercurio la cui determinazione si collega alle questioni più delicate e controverse della teoria dell'elasticità ¹¹⁷.

Ogni concetto scientifico anche il più « operativo » in apparenza, anche quello dall'aspetto più « empirico », è in realtà il punto di confluenza di una rete di teorie. « Aprite una memoria qualunque della fisica sperimentale e leggetene le conclusioni: queste non sono affatto l'esposizione pura e semplice di certi fenomeni, sono degli enunciati astratti ai quali non potete collegare alcun senso se non conoscete le teorie fisiche ammesse dall'autore » ¹¹⁸.

La funzione determinante svolta dalle teorie nella definizione dei concetti fa sì che ogni fatto teorico si trovi, in forza delle teorie implicate nella sua determinazione, inserito in una rete complessa di rapporti con altri fatti teorici e pratici, rapporti creati appunto dalle teorie. Questa rete di rapporti che si instaurano automaticamente in forza della natura teorica dei concetti scientifici esclude la possibilità di ridurre la scienza a un semplice linguaggio specialistico. Questa era stata precisamente la posizione assunta da

¹¹⁷ Duhem, 1906 a, p. 237.

¹¹⁸ *Ibid.*, p. 239.

Poincaré nel corso della sua discussione famosa con Le Roy. Quest'ultimo, a conclusione delle proprie analisi sulle componenti teoriche presenti nelle osservazioni scientifiche aveva affermato: « I fatti, lungi dall'esser ricevuti passivamente dallo spirito, sono in qualche modo creati da lui »¹¹⁹. Poincaré aveva replicato nel 1905 che l'enunciato di un fatto è sempre verificabile con la testimonianza dei sensi, ma per rispondere alla domanda circa la verità o falsità di un fatto occorre essere a conoscenza delle convenzioni in base alle quali la domanda acquista un senso preciso. Tuttavia, una volta chiarite queste, la risposta dipende dai sensi, cioè dall'esperienza, e non dalla volontà: « Quando osservo un galvanometro ..., se io domando a un visitatore ignorante: passa corrente? egli va a guardare il filo per tentare di vederci passare qualcosa; ma se io pongo la domanda al mio assistente che capisce il mio linguaggio, egli saprà che cosa ciò significa: l'indice luminoso si sposta! E guarderà sulla scala ». Una volta capito che la domanda « passa corrente? » equivale, per le convenzioni del linguaggio scientifico, alla domanda « si sposta l'indice luminoso sulla scala dello strumento? » la risposta non potrà più essere arbitraria, dipenderà solo dal responso dei sensi: l'indice si sposta oppure no, senza ambiguità.

Che differenza c'è allora — concludeva Poincaré — tra l'enunciato di un fatto bruto e l'enunciato di un fatto scientifico? C'è la stessa differenza che esiste tra gli enunciati dello stesso fatto bruto nella lingua francese e nella lingua tedesca. L'enunciato scientifico è la traduzione dell'enunciato bruto in un linguaggio che si distingue soprattutto dal tedesco volgare o dal francese volgare perché esso è parlato da un numero molto meno grande di persone¹²⁰.

Nella riduzione che Poincaré opera della scienza a linguaggio « specialistico » o « tecnico » Duhem scorge un misconoscimento completo del carattere fondamentale del linguaggio scientifico, che è quello di definire il significato dei propri termini per mezzo di reti teoriche che stabiliscono in modo immediato connessioni multiple tra enunciati scientifici e tra questi e la realtà fenomenica.

In un linguaggio tecnico ogni frase corrisponde semplicemente ad una operazione determinata compiuta su degli oggetti ben definiti, come accade ad esempio per i comandi che si danno sulle navi nel gergo marinaresco. Una proposizione scientifica, invece, in forza delle connessioni

¹¹⁹ Le Roy, 1899-1900, VII (1899), p. 517.

¹²⁰ Poincaré, 1905, p. 227.

implicate da ogni concetto scientifico, si può tradurre in molti modi, può esser posta in connessione con una moltitudine di eventi differenti.

Ad esempio, la frase « se si fa crescere la pressione di un certo valore, aumenta la forza elettromotrice di una pila di un certo valore » può essere messa alla prova, posta in connessione con l'esperienza, in molti modi:

Il fisico può esercitare la pressione versando del mercurio in un tubo, facendo sollevare un serbatoio pieno di liquido, o manovrando una pressa idraulica, o affondando nell'acqua un pistone. Può misurare questa pressione con un manometro ad aria libera, con un manometro ad aria compressa, con un manometro metallico. Per valutare la variazione della forza elettromotrice potrà impiegare successivamente tutti i tipi conosciuti di elettrometro, di voltmetro; ogni nuova disposizione di strumenti gli fornirà dei nuovi fatti da constatare ... Tuttavia tutte queste manipolazioni così diverse, che il profano non coglierebbe tra esse alcuna analogia, non sono esperienze veramente differenti; sono soltanto forme differenti di una stessa esperienza; i fatti che si sono realmente prodotti sono stati profondamente dissimili, ma la constatazione di questi fatti si esprime in un unico enunciato: la forza elettromotrice di una pila aumenta all'aumentare della pressione¹²¹.

Il linguaggio scientifico ha il potere di collegare con i suoi enunciati un gran numero di fatti proprio perché non è un semplice linguaggio, è in primo luogo teoria.

Anche Poincaré aveva ammesso che la frase « la corrente passa » può essere tradotta in un gran numero di fatti sperimentali, esprime un'infinità di fatti possibili in virtù delle relazioni costanti tra diverse leggi sperimentali.

Ma — osserva Duhem — queste relazioni non sono forse proprio ciò che tutti chiamano la teoria della corrente elettrica? È per il fatto che questa teoria si suppone costruita che le parole « passa nel filo una corrente di un certo numero di ampère » possono condensare tanti significati distinti. Il ruolo dello scienziato non si è dunque limitato a creare un linguaggio chiaro e conciso per esprimere i fatti concreti; piuttosto la creazione di questo linguaggio presuppone la creazione della teoria fisica¹²².

L'equivalenza tra scienza e linguaggio ben costruito, lo si è detto più volte, era naturalmente ben presente nella cultura francese a partire da Condillac e Lavoisier e sullo scorcio del secolo era stata ripresa ed enfatizzata in senso strumentalista da tutto il filone antiintellettualista.

¹²¹ Duhem, 1906 a, p. 241.

¹²² *Ibid.*, p. 245.

L'equivalenza delle conclusioni di teorie che sono contraddittorie nelle loro ipotesi fondamentali — scriveva D'Adhémar nel 1904 — ci impedisce assolutamente di vedere in ognuna di esse una spiegazione integrale e definitiva delle cose. Una teoria non è dunque che un linguaggio destinato a tradurre i rapporti reali rivelati dall'osservazione ... Oggi è divenuto banale, grazie alla molteplicità infinita delle teorie equivalenti, considerare le teorie della scienza ... come dei linguaggi proporzionali ad un dato¹²³.

Opponendosi all'equivalenza tra scienza e linguaggio, Duhem assunse una posizione assai caratterizzante nel panorama della discussione epistemologica, posizione che intendeva prendere le distanze, anche a questo riguardo, dallo strumentalismo¹²⁴.

Il ruolo ineliminabile della teoria nella sperimentazione si evidenzia non solo nella necessità di tradurre in forme adatte i risultati di una esperienza, ma anche quella di sostituire agli strumenti concreti degli schemi teorici e di correggere, sempre alla luce di considerazioni teoriche, i responsi degli strumenti.

Quando un fisico fa un'esperienza, due rappresentazioni ben distinte dello strumento su cui opera occupano simultaneamente la sua mente; l'una è l'immagine dello strumento concreto che egli manipola nella realtà, l'altro è un tipo schematico dello stesso strumento costruito per mezzo di simboli forniti dalle teorie, ed è su questo strumento ideale e simbolico che egli ragiona, è ad esso che applica le leggi e le formule della fisica¹²⁵.

Proprio ragionando su questi schemi astratti di strumenti il fisico riesce a produrre delle correzioni, eliminare cause d'errore nella misura. La sempre crescente precisione della fisica sperimentale è direttamente dipendente dal miglioramento dell'interpretazione teorica dell'esperienza. Accanto al fatto principale si prendono in considerazione anche circostanze secondarie e si sottopongono le « constatazioni brute dell'esperienza » a delle combinazioni, delle trasformazioni sempre più numerose e delicate, si correggono alla luce delle teorie i dati immediati dell'esperienza. Il fisico confronta incessantemente lo strumento reale che manipola e lo strumento ideale su cui ragiona e cerca di rendere questo sempre più « somigliante » a quello, complicando progressivamente lo schema

¹²³ D'Adhémar, 1904, pp. 26-30.

¹²⁴ Questo è un punto che è spesso frainteso. Ad esempio Redondi scrive che Duhem aveva l'esigenza « di ridurre la fisica a una lingua ben fatta » (Redondi, 1978 a, p. 17).

¹²⁵ Duhem, 1906 a, p. 252.

astratto. « Questo passaggio da un certo strumento schematico a un altro che simbolizza meglio lo strumento concreto, è essenzialmente l'operazione che designa in fisica il termine correzione »¹²⁶.

L'analisi della nozione di « esperienza » in fisica che Duhem compie fa crollare la dogmatica certezza riposta in essa dal pensiero positivista. Di questa analisi si impadronirono i sostenitori dell'antiintellettualismo nelle sue svariate forme per negare ogni certezza, ogni portata oggettiva alla base empirica della scienza, quindi negarle alla scienza tutta. Questa conclusione non è certo condivisa da Duhem.

Sicuramente egli ammette che « la certezza di un risultato d'esperienza sia di un ordine del tutto diverso della certezza di un fatto semplicemente constatato per mezzo dei sensi »¹²⁷. Se qualcuno che non sia un allucinato e un mentitore dice di aver visto il tal giorno e la tal ora nel tal posto un cavallo bianco, c'è da credergli. Ma quando un fisico enuncia il risultato di una esperienza non basta, per accoglierlo, assicurarsi che egli sia sano di mente, non alterato nei sensi e sincero, occorre soprattutto sottoporre il suo resoconto ad un vaglio di carattere teorico.

In primo luogo occorre informarsi sulle teorie che il fisico accetta e che gli sono servite per interpretare i fatti che egli ha constatato. Senza la conoscenza di queste teorie sarebbe impossibile capire il senso dei suoi enunciati, essi « sarebbero per noi quello che le iscrizioni etrusche o liguri sono per l'epigrafista: documenti scritti in una lingua che non sappiamo leggere »¹²⁸. Una volta accertate le regole di interpretazione, le teorie che servono alla costruzione del fatto teorico, è poi necessario accertarsi che queste regole siano state applicate correttamente, non siano stati commessi errori di ragionamento o di calcolo. Oltre alle teorie ammesse e al loro uso la nostra indagine si deve estendere anche alle caratteristiche degli apparecchi di misura impiegati per valutare se gli schemi simbolici costruiti per tradurre nel campo teorico gli strumenti reali sono adeguati, cioè indagare se sono stati presi in considerazione tutti i possibili errori sistematici e se questi sono stati correttamente trattati. Infine è necessario conoscere il grado di approssimazione con cui il risultato del-

¹²⁶ *Ibid.*, p. 254.

¹²⁷ *Ibid.*, p. 257.

¹²⁸ *Ibid.*, p. 260.

l'esperienza è stato enunciato, fondamentalmente applicando la teoria degli errori accidentali, fondata su ipotesi altamente incerte, che fanno appello piú allo « esprit de finesse » piuttosto che allo « esprit géométrique ».

Il risultato di una esperienza fisica non ha una certezza dello stesso ordine di un fatto constatato con metodi non scientifici, per mezzo della vista o del tatto di un uomo sano di corpo e di mente; meno immediata, soggetta alle discussioni cui sfugge la testimonianza volgare, questa certezza rimane sempre subordinata alla fiducia che ispira tutto un insieme di teorie ¹²⁹.

La discussione sulla base empirica della scienza non è discussione sui fatti ma discussione tra teorie. Non esiste una base osservativa non impregnata di teorie, non esiste alcuna rigida distinzione epistemologica tra aspetti osservativi e aspetti teorici della scienza, non esiste un terreno neutro, un linguaggio osservativo non problematico, su cui tutti gli scienziati possono senz'altro trovarsi in accordo.

Gran parte dei problemi che la filosofia della scienza del Novecento discuterà ruoteranno attorno al problema della base empirica della scienza e a Duhem spetta senza alcun dubbio il merito di avere per primo con grande chiarezza posta la questione.

Strettamente connesso al problema della natura impregnata di teorie della base empirica vi è un altro grande problema che è attualmente uno dei centri di attenzione della filosofia della scienza, il problema della varianza di significato degli enunciati scientifici al variare delle teorie ammesse. Anche a questo proposito Duhem ha senza alcun dubbio fornito una grande anticipazione: se ogni enunciato su una esperienza è una interpretazione fatta alla luce di certe teorie, è chiaro che il suo senso dipenderà dalle teorie ammesse e varierà con esso. Ammettendo teorie differenti si cambia il senso di un enunciato e il confronto su di esso diventa pertanto impossibile.

Se le teorie ammesse da un fisico sono quelle che noi accettiamo, se siamo convinti di seguire le stesse regole nella interpretazione degli stessi fenomeni, noi parliamo la stessa lingua e ci possiamo intendere. Ma non è sempre così; non è così allorché discutiamo le esperienze di un fisico che non appartiene alla nostra stessa scuola; non è così, soprattutto, quando discutiamo le esperienze di un fisico di cinquant'anni, un secolo o due secoli fa ¹³⁰.

¹²⁹ *Ibid.*, pp. 264-5.

¹³⁰ *Ibid.*, p. 259.

Dalla tesi della varianza di significato si può concludere alla incomensurabilità tra teorie differenti, in quanto teorie differenti, producendo basi empiriche differenti, non trovano alcun terreno comune su cui confrontarsi. Di qui, ovviamente, discende l'impossibilità di parlare razionalmente di progresso nella storia della scienza ¹³¹.

È noto che un modo, forse l'unico, per evitare questa conclusione fortemente scettica è quello di ammettere che una comunicazione, quindi un confronto tra sostenitori di teorie differenti è in qualche modo possibile tramite un'opportuna traduzione dei concetti dell'una nel linguaggio dell'altra. È proprio questa la via che indica Duhem per poter discutere una misurazione compiuta da un fisico che aderisca ad un apparato teorico differente dal nostro:

Occorre allora cercare di stabilire una corrispondenza tra le idee teoriche dell'autore che studiamo e le nostre; interpretare di nuovo, per mezzo dei simboli che usiamo noi, ciò che egli aveva interpretato per mezzo dei simboli da lui accolti; se noi riusciamo nell'intento, la discussione della sua esperienza diverrà possibile, questa esperienza sarà una testimonianza resa in una lingua estranea alla nostra, ma in una lingua di cui noi possediamo il vocabolario; noi possiamo tradurla ed esaminarla ¹³².

Certo Duhem non sembra conscio delle difficoltà concettuali nascoste nell'operazione di traduzione, non rammenta a questo proposito, come aveva fatto in precedenza, che « tradurre è un po' tradire ». Sembra che l'impossibilità di tradurre dipenda fondamentalmente dalla mancanza di informazioni circa le convinzioni teoriche dell'altro, ma Duhem è pienamente cosciente del fatto che soltanto attraverso il lavoro di traduzione i contributi sperimentali di una certa scuola possono divenire patrimonio anche di altre scuole, possono servire al progresso anche dei programmi degli avversari: « Biot aveva fatto sulla polarizzazione della luce un gran numero di esperienze minuziose e le aveva interpretate nel sistema dell'emissione; Fresnel ha potuto tradurle nel linguaggio della teoria ondulatoria e impiegarle per controllare questa teoria ». Se non si riesce a compiere la traduzione, al contrario, « le proposizioni con le quali quel fisico ha tradotto i risultati delle sue esperienze non saranno

¹³¹ Ricordiamo i testi più famosi sul tema della varianza di significato: Polanyi, 1958; Quine, 1966; Toulmin, 1967; Fine, 1967; Hesse, 1968; Kuhn, 1969; Leplin, 1969; Giedymin, 1970 e 1973; Kording, 1971; Popper, 1976; Laudan, 1977; Hanson, 1978; Lakatos, 1979; Feyerabend, 1979.

¹³² Duhem, 1906 a, p. 259.

per noi né vere né false, saranno prive di senso, lettera morta »¹³³.

Solo la traduzione consente il confronto sul terreno dell'esperienza, solo la traduzione consente la costruzione di una base empirica intersoggettiva per la scienza.

Certo, intersoggettività non significa oggettività: anche le affermazioni su cui è comune l'assenso degli scienziati sono talmente impregnate di teoria che il loro grado di certezza è ben diverso da quello che caratterizza gli enunciati del senso comune, del tipo « ogni uomo è mortale ». La scienza è dunque fondata su un basamento fluttuante, su una palude torbida e infida, su palafitte di cui non si scorgono i punti di appoggio? La critica alla nozione positivista di esperienza si risolve in Duhem in un tentativo, brillantemente riuscito, di minare le fondamenta dell'empirismo?

Eppure Duhem a più riprese ammette che, anche se ovviamente è operazione difficilissima e non risolvibile senza un ricorso al fiuto, allo « esprit de finesse », si può separare nella fisica una componente più sperimentale ed una più teorica e ammette anche che « le proposizioni che enunciano i fatti e formulano le leggi possiedono ciò che le proposizioni puramente teoriche non hanno e cioè una portata oggettiva »¹³⁴.

Si tratta di una incoerenza nel pensiero duhemiano? Critici autorevoli come Mary Hesse pensano che sia così: « Come possiamo essere sicuri che i fatti forniscano una salda base empirica? La risposta deve essere che noi non possiamo essere sicuri. Non c'è una simile base. Occorre ammettere che lo stesso Duhem non fu coerente su questo punto, perché qualche volta parla della persistenza della rete di fatti teorici come se questa, una volta stabilita, assuma il carattere privilegiato attribuito alle affermazioni osservative nel positivismo classico »¹³⁵. Questa è certo la soluzione interpretativa più facile e dal punto di vista logico è forse la più valida, ma non consente di cogliere tutta la complessità del pensiero duhemiano.

Va detto subito che una risposta agli interrogativi sopra posti potrà essere data solo dopo che si saranno esaminati altri problemi. Fin d'ora, però, sarà bene aver presente una considerazione che lo stesso Duhem pone a conclusione del suo capitolo dedicato all'esperimento in fisica e

¹³³ *Ibid.*, p. 260.

¹³⁴ Duhem, 1905 b, p. 327.

¹³⁵ Hesse, 1976, p. 187.

che getta una luce rivelatrice sulla portata che egli attribuisce alla critica della base empirica: un'esperienza di fisica è meno certa, ma piú precisa e piú dettagliata della constatazione non scientifica di un fatto.

Il significato di questa affermazione si può comprendere appieno solo in riferimento alla polemica in atto in Francia sul tema della distinzione tra conoscenza comune e conoscenza scientifica, fatto bruto e fatto scientifico. Le Roy aveva sottolineato la differenza tra i due tipi di giudizio per far risaltare l'incertezza, la soggettività del « fatto scientifico » rispetto al fatto bruto. Poincaré da parte sua aveva replicato cercando di ridare oggettività al fatto scientifico eliminando la barriera tra questo e i fatti bruti, affermando che anche gli enunciati sui fatti della conoscenza comune sono costruzioni linguistiche e che pertanto non vi è una conoscenza piú salda e una meno salda, l'unica differenza sta nella circostanza che i fatti scientifici sono espressi in un linguaggio specialistico.

Duhem contro Poincaré vuol mantenere la chiara distinzione tra conoscenza volgare e conoscenza scientifica in quanto prodotta da teoria, ma contro Le Roy non vuole che questa distinzione si risolva in una svalutazione del potere cognitivo di un enunciato scientifico. Al contrario di Le Roy egli non sottolinea nell'opposizione osservazione volgare - osservazione scientifica la perdita di certezza, bensí l'aumento di precisione. L'intervento delle teorie nella determinazione dell'esperienza non è una perdita, è un guadagno. Solo l'uso di teorie consente una conoscenza dettagliata, esatta, precisa del fenomeno, di contro alla grossolanità, alla superficialità della conoscenza volgare.

non si accontenta di farci conoscere un fenomeno grossolanamente; pretende di analizzarlo, informarci sui minimi dettagli e le particolarità piú minuziose ... Questa pretesa sorpasserebbe il potere della sperimentazione scientifica ... se il fisico non avesse al suo servizio un meraviglioso mezzo di classificazione e di espressione, una rappresentazione simbolica mirabilmente chiara e concisa, che è la teoria matematica¹³⁶.

Lungi dal risolversi in un elogio del soggettivismo, la critica duhemiana alla nozione di esperienza scienti-

¹³⁶ Duhem, 1906 a, p. 266.

fica si conclude con una esaltazione del nuovo potere che il supporto della teoria conferisce alla osservazione: « è l'interpretazione teorica che permette all'esperienza scientifica di penetrare ben più avanti del senso comune nella analisi dettagliata dei fenomeni, di darne una descrizione la cui precisione sorpassa di molto l'esattezza del linguaggio comune »¹³⁷.

6. - LA NOZIONE DI LEGGE SCIENTIFICA.

I risultati raggiunti con la critica della nozione di esperienza consentono facilmente a Duhem di giungere a conclusioni simili anche a proposito delle leggi fisiche.

I termini che compaiono nell'enunciato di una qualunque legge sono astratti e simbolici, cioè si costruiscono e ricevono un senso solo grazie all'impiego di teorie. Le leggi sono rapportate all'esperienza concreta solo mediante l'uso di strumenti e l'uso di questi, lo si è visto, implica l'uso di varie teorie. Duhem sottolinea che la funzione centrale assunta dalle teorie nella costruzione e nella prova delle leggi produce concetti che non sono soltanto astratti, non colgono soltanto ciò che vi è di generale in un gruppo di oggetti come accade ai concetti del senso comune, sono anche simbolici, cioè prodotti da un « lavoro lento, complicato, cosciente, dal lavoro secolare che ha elaborato le teorie fisiche; è impossibile capire la legge, impossibile applicarla se non si è fatto questo lavoro, se non si conoscono le teorie fisiche »¹³⁸.

Poiché il senso di una legge dipende da un gruppo di teorie che ne definiscono i concetti, cambiando teorie di riferimento cambia il senso della legge ed allora è possibile che due fisici, che facciano riferimento a teorie differenti, assumano un atteggiamento contrapposto nei confronti della stessa legge, che l'uno la accetti e l'altro la respinga. Consideriamo ad esempio la legge « tutti i gas si comprimono e si dilatano allo stesso modo » e chiediamoci se vale per il vapore di iodio. Un fisico che accetti la teoria secondo cui il vapore di iodio è un gas unico, constatando certi comportamenti sperimentali del vapore di iodio concluderà che la legge non vale per esso. Un secondo fisico che aderisce invece alla teoria secondo cui il vapore di iodio non è un gas unico ma un miscuglio di due

¹³⁷ *Ibid.*, p. 267.

¹³⁸ *Ibid.*, p. 272.

gas, applicando la formula di Gibbs per i miscugli non troverà alcun dissaccordo con l'esperienza.

Così i nostri due fisici sono di parere opposto riguardo a una legge che tutti i due enunciano sotto la stessa forma; l'uno trova che questa legge è smentita da un certo evento, l'altro trova che questa è confermata dallo stesso evento; ciò avviene perché le teorie differenti cui si richiamano non stabiliscono allo stesso modo il senso da attribuire al concetto « gas unico », in modo che, pronunciando tutti e due la stessa frase, essi intendono due proposizioni differenti; per confrontare questo enunciato con la realtà fanno dei calcoli differenti, in modo che l'uno può trovare questa legge verificata da eventi che, per l'altro, la contraddicono, prova questa assai manifesta della seguente verità: una legge fisica è una relazione simbolica la cui applicazione alla realtà concreta esige che si conosca e che si accetti tutto un insieme di teorie¹³⁹.

Il distacco con l'induttivismo è qui evidentemente radicale: le leggi non sono né generalizzazioni prodotte dalla osservazione di un certo numero di eventi, né sono regole concise e sintetiche per la riproduzione di eventi singolari, come pensava Mach, esse sono parti, punti di intersezione di un reticolo complesso di teorie: il loro senso e la loro connessione con l'esperienza sono determinati da un complesso teorico.

La natura necessariamente approssimata di ogni misurazione comporta poi il carattere approssimato delle leggi e quindi la possibilità di usare sempre una infinità di funzioni matematiche che, entro i limiti di approssimazione consentiti dagli apparecchi di misura, sono tutte ugualmente in grado di simbolizzare un insieme di risultati sperimentali: « a uno stesso insieme di fatti si può far corrispondere una infinità di formule differenti, una infinità di leggi fisiche distinte »¹⁴⁰. Entro i limiti di approssimazione imposti dalla strumentazione nessuna legge può essere dichiarata vera o falsa, il fisico dal punto di vista logico non ha diritto di scegliere una delle infinite funzioni possibili e dichiararla vera. Naturalmente il fisico compirà una scelta, « ma i motivi che guideranno la sua scelta non saranno della stessa natura, né si imporranno con la stessa necessità imperiosa di quelli che obbligano a preferire la verità all'errore »¹⁴¹.

¹³⁹ *Ibid.*, p. 274.

¹⁴⁰ *Ibid.*, p. 276.

¹⁴¹ *Ibid.*, p. 279.

Anche Poincaré si era trovato di fronte a un problema simile: per Poincaré ogni legge è frutto di una generalizzazione che porta dalla sperimentazione su alcuni casi alla formulazione di una proposizione di carattere universale. Ma si può sempre generalizzare in una infinità di modi un numero finito di dati empirici. Come scegliere? Dal punto di vista induttivista assunto da Poincaré la risposta può essere una sola: « ... la scelta non può essere guidata che da considerazioni di semplicità »¹⁴².

Anche Duhem ammette che considerazioni di semplicità spesso guidano la scelta del ricercatore, ma la sua concezione non induttiva delle leggi scientifiche gli permette di indicare un altro criterio di scelta, che pare ben più ricco di implicazioni, quello della *coerenza con teorie già accettate*. E Duhem sottolinea che è proprio questo il criterio che più comunemente viene impiegato: « Il fisico preferirà soprattutto una legge a un'altra allorché la prima deriverà dalle teorie che egli ammette, per esempio, domanderà alla teoria dell'attrazione universale quale formula deve preferire tra tutte quelle che potrebbero rappresentare il movimento del Sole »¹⁴³.

Il carattere approssimato e simbolico delle leggi le rende anche provvisorie, modificabili alla luce di un progresso nella precisione degli strumenti e di una complicazione, resa necessaria da nuove informazioni sperimentali o da una più attenta analisi dell'esperienza, prodottasi negli schemi teorici che avevano prodotto la primitiva simbolizzazione.

Qui siamo evidentemente di fronte ad uno dei punti chiave del pensiero convenzionalista: se le leggi hanno una natura convenzionale, sotto quali spinte esse vengono modificate? Il convenzionalismo più radicale aveva espresso la convinzione che essendo le leggi convenzioni non vi è mai necessità di modificarle. Questa tesi era stata enunciata da Milhaud a proposito della nozione di corpo puro in chimica, ampiamente discussa anche se limitata ai principi della meccanica da Poincaré, e sostenuta con forza soprattutto da Le Roy¹⁴⁴: le leggi sono usate dallo scienziato come definizioni e pertanto non vi è mai la necessità di modificarle, nessuna esperienza può

¹⁴² Poincaré, 1902, la citazione si trova a p. 173 della edizione del 1927, Paris.

¹⁴³ Duhem, 1906 a, p. 280 (corsivi miei).

¹⁴⁴ Milhaud, 1898, p. 45; Poincaré, 1902, p. 263; Le Roy, 1899-1900, VII (1899), p. 523.

costringerci a farlo, esse sono infalsificabili. Una legge stabilisce infatti alcune condizioni sotto le quali essa è da ritenersi valida. Il risultato di una esperienza che la voglia mettere alla prova serve semplicemente da criterio per decidere se queste condizioni sono soddisfatte oppure no. Ad esempio la legge della caduta dei gravi serve a stabilire se un corpo in esame sta cadendo nelle condizioni stabilite dalla legge, se cioè è sottoposto alla sola forza di gravità. Se il corpo non cade secondo la legge di gravità non si dirà che questa è sbagliata, ma si converrà di ritenere che il corpo in esame non era soggetto alla sola forza di gravità (ad esempio che subiva l'effetto dell'attrito dell'aria, o della attrazione magnetica della Terra):

Quando l'esperienza fallisce — aveva dichiarato Le Roy — noi dichiariamo esplicitamente che queste condizioni non erano soddisfatte o che una causa sconosciuta — e che si trova con questo definita — è entrata in gioco. Non è dunque sorprendente che la legge si verifichi sempre, poiché noi stabiliamo che sfuggano al suo dominio tutti i casi in cui essa cade in difetto¹⁴⁵.

Questo tipico discorso convenzionalista vuole mettere in rilievo che l'attribuire le eccezioni ad una legge a nuove cause perturbanti svuota di contenuto empirico le leggi scientifiche, rende il confronto rigoroso con l'esperienza un momento inutile per la crescita della scienza in quanto si risolve con l'esercizio, certo magari abile o addirittura geniale, di una attività inventiva che ha come scopo quello di salvare una legge ponendola al di là dell'esperienza.

Per Duhem il confronto severo, le smentite dell'esperienza hanno un esito che è solo apparentemente identico a quello di Le Roy (il salvataggio della legge grazie all'aggiunta di nuove cause perturbanti), ma ha in realtà un obiettivo diametralmente opposto a quello dello strumentalismo. Per Duhem, infatti, di fronte ad una smentita della esperienza, noi salviamo una legge specificandone le condizioni di validità e ciò costituisce un progresso conoscitivo. Noi usiamo, è vero, la legge come criterio per stabilire se sono o non sono rispettate le condizioni sotto cui la si ritiene valida, ma è l'esperienza che ci permette di stabilire quali siano le condizioni di validità. Ogni smentita non falsifica la legge, ma ci dà informazioni sui suoi limiti di validità e questo costituisce un progresso;

¹⁴⁵ Le Roy, 1899-1900, VII (1899), p. 523.

non si risolve in un abile gioco intellettuale di salvataggio, si risolve in una rappresentazione simbolica piú aderente al reale.

In astratto esiste, è vero, la possibilità di dichiarare falsa la legge e rifare di bel nuovo interi capitoli della fisica, ma lo scienziato preferisce sempre mantenere la legge ed andare alla ricerca di cause perturbanti perché questo atteggiamento si risolve nella crescita della teoria:

Assumendo la prima posizione saremmo obbligati a distruggere da cima a fondo un vastissimo sistema teorico, che rappresenta in modo assai soddisfacente un insieme assai esteso e complesso di leggi sperimentali. La seconda, al contrario, non fa perdere nulla del terreno già conquistato dalla teoria fisica; di piú, essa ha avuto successo in un numero cosí grande di casi che abbiamo fondati motivi per dare per scontato un nuovo successo¹⁴⁶.

Consideriamo — dice Duhem riprendendo l'esempio che già aveva fatto nel 1894 — il gas ossigeno. Esso viene rappresentato schematicamente come un fluido perfetto avente una certa densità, portato ad una certa temperatura, sottoposto ad una data pressione. Tra queste tre grandezze si stabilisce una relazione matematica, la legge della comprimibilità e della dilatazione dell'ossigeno. Se poniamo dell'ossigeno in un campo elettrico la legge non sarà piú confermata. Non per questo il fisico sarà disposto a mettere in dubbio la fissità delle leggi di natura. Egli dirà invece che la schematizzazione compiuta in precedenza del gas era troppo povera, troppo incompleta per rappresentare le proprietà del gas reale posto nelle condizioni nuove. La falsificazione della legge non sarà aggirata dicendo semplicemente che il gas non si trova nelle condizioni previste dalla legge (come farebbe un seguace di Le Roy), ma cercando di scoprire come vada modificata la nostra immagine del gas al fine di spiegare il suo comportamento nelle nuove condizioni. Si cercherà cioè di migliorare la schematizzazione, arricchendola di nuove determinazioni:

[Il fisico] cercherà di completare quello schema, di renderlo piú adatto a rappresentare la realtà, non si accontenterà piú di rappresentare l'ossigeno simbolico per mezzo della sua densità, della sua temperatura, della sua pressione; gli attribuirà un potere dielettrico, introdurrà nella costruzione del nuovo schema l'intensità del campo in cui il gas è disposto; sottometterà questo simbolo piú completo a dei nuovi studi e otterrà la legge di comprimibilità dell'ossigeno

¹⁴⁶ Duhem, 1906 a, p. 347.

dotato di polarizzazione dielettrica; sarà una legge piú complicata di quella che aveva ottenuto in un primo tempo, che comprende quella come caso particolare; ma, piú comprensiva, sarà verificata nei casi in cui la legge primitiva cadeva in difetto¹⁴⁷.

Poiché un'adequazione completa dello schema teorico alla realtà è impossibile, anche la nuova legge sarà rivedibile, ulteriormente perfezionabile con la ripetizione di un procedimento metodologicamente identico al precedente: ogni smentita della esperienza costringe a raffinare lo schema teorico per renderlo sempre « piú adatto a rappresentare la realtà ». In questo processo è l'esperienza falsificante ad insegnarci quali siano le condizioni di validità della legge, le restrizioni cui l'enunciato primitivo va sottoposto; l'esperienza non è un nemico da cui, con artifici piú o meno astuti, occorre guardarsi, è la fonte del perfezionamento dello schema teorico: « la necessità di queste restrizioni non appariva per niente all'inizio; è stata imposta dalle esperienze »¹⁴⁸. Il lavoro dei ritocchi continui con cui le leggi della fisica evitano le smentite dell'esperienza non ha la funzione di salvare una legge pietrificandola nel limbo del convenzionalismo, ma gioca un ruolo « essenziale nello *sviluppo* della scienza »¹⁴⁹. Ciò che è rilevante dal punto di vista di Duhem non è il salvataggio della legge, ma il progresso nello schema teorico, che si realizza nel tentativo di risolvere i problemi sollevati da un'esperienza falsificante:

È per mezzo di questa lotta incessante, per mezzo di questo lavoro che continuamente completa le leggi al fine di farvi rientrare le eccezioni che la fisica progredisce . . . progredisce perché, senza sosta, l'esperienza fa scoppiare nuove contraddizioni tra le leggi e i fatti e, senza sosta, i fisici ritoccano e modificano le leggi affinché esse rappresentino piú esattamente i fatti¹⁵⁰.

Il carattere provvisorio delle leggi scientifiche le differenzia dalle leggi del senso comune, la cui verità è fissa e assoluta. Ciò potrebbe indurre alla tentazione di considerare le leggi scientifiche in qualche modo inferiori a quelle del senso comune. Ci troviamo ancora di fronte al problema già presentatosi al termine dell'indagine sull'esperienza in fisica:

¹⁴⁷ *Ibid.*, pp. 285-6.

¹⁴⁸ *Ibid.*, pp. 287-8.

¹⁴⁹ *Ibid.*, p. 288 (spaz. mie).

¹⁵⁰ *Ibid.*, p. 290.

il riconoscimento della impossibilità di attribuire alle leggi scientifiche quella dogmatica saldezza che era disposto ad attribuire loro il tradizionale empirismo non significa affatto svalutazione della conoscenza scientifica ed esaltazione del soggettivismo. La conoscenza scientifica si pone il compito di andare piú in profondità rispetto al senso comune e questo approfondimento si paga al prezzo di rendere la nozione di verità piú « delicata », piú « complicata » e quindi piú « incerta ». « Tra la precisione e la certezza vi è una sorta di compensazione: l'una non può crescere che a detrimento dell'altra »¹⁵¹. Ma, e questa è la conclusione di fondamentale importanza, benché incerta, benché approssimativa e perfettibile, si tratta pur sempre di « verità »: « L'uomo può giurare di dire la verità; ma non è in suo potere dire tutta la verità e dire nient'altro che la verità »¹⁵².

La natura delle leggi scientifiche vieta di identificarle con una dogmatica verità non ulteriormente approfondibile. Esisterà sempre una distanza incolmabile tra schemi teorici e realtà, ma quella stessa natura è, in ultima analisi, quella di uno schema sempre aperto al costante miglioramento, nel senso di costante aggiunta di dettagli che, complicando lo schema rendono tale distanza sempre meno grande:

Il simbolo matematico forgiato dalla teoria si applica alla realtà come l'armatura al corpo di un cavaliere armato; piú l'armatura è complicata, piú il metallo rigido sembra acquistare flessibilità; la molteplicità dei pezzi che si incastrano come scaglie assicura un contatto piú perfetto tra l'acciaio e le membra che esso protegge; ma per quanto numerosi siano i frammenti che la compongono, mai l'armatura sposterà esattamente il modello del corpo umano¹⁵³.

L'analisi « logica » delle leggi scientifiche conduce così Duhem ad una concezione dinamica delle stesse: ciò che le distingue dalle leggi del senso comune è la loro provvisorietà, laddove però il termine « provvisorietà » non ha alcuna connotazione negativa, ma va inteso fondamentalmente come costante apertura al perfezionamento nel senso, in fondo pie-

¹⁵¹ *Ibid.*, p. 292.

¹⁵² *Ibid.*, p. 293.

¹⁵³ *Ibid.*, p. 287.

namente realista, di «miglior adattamento alla rappresentazione della realtà»¹⁵⁴.

Di fronte alla concezione strumentalista che delle leggi scientifiche proponevano Le Roy e i suoi seguaci e, in fondo, lo stesso Poincaré, la posizione di Duhem si mostra, ad una ricostruzione che non si limiti ad accoglierne taluni aspetti critici nei confronti del positivismo, la difesa più accorta e duttile del valore conoscitivo delle leggi scientifiche elaborata nel periodo della «crisi della ragione» di fine secolo.

Certo, le conclusioni assai ottimiste, per nulla in linea con generici discorsi sulla crisi della scienza, con cui Duhem termina la sua analisi del concetto di esperienza e del concetto di legge, rinviano per la loro fondazione ad altro: alla nozione di teoria. Sia i risultati di una esperienza, sia una legge sono costruiti, interpretati, vagliati alla luce di certe teorie. Ad ogni passo, anche minimo, del suo lavoro il fisico deve chiedere lumi, appoggiarsi, in modo più o meno conscio, a tutto un gruppo di teorie e la fiducia che egli è disposto a dare ad un risultato sperimentale o ad una legge è strettamente dipendente dalla fiducia accordata a quelle teorie che hanno diretto il suo lavoro. Siamo agli antipodi dell'empirismo induttivista: anziché essere le teorie a cercare nelle leggi e nei risultati sperimentali la loro garanzia, esse diventano i garanti delle leggi e dei fatti. La saldezza dei dati sperimentali e delle leggi è direttamente proporzionale alla saldezza delle teorie che sono state impiegate nella loro costruzione. Ma allora chi garantisce questi nuovi garanti? La risposta di Duhem è l'esperienza, ma la forma e il valore di questa garanzia sono di una insospettata complessità.

7. - TEORIE ED ESPERIENZA.

Una volta accettata l'analisi compiuta da Duhem sulla sperimentazione in fisica e sul concetto di legge, diventa inevitabile giungere a quella che è la più celebre tesi epistemologica duhemiana: la critica alla nozione di esperimento cruciale.

Se ogni esperienza, ogni enunciato scientifico hanno un senso solo in grazia di una o più teorie è chiaro che ogni controllo sperimentale im-

¹⁵⁴ *Ibid.*, p. 285.

plicherà un « atto di fede in tutto un insieme di teorie »¹⁵⁵. Ogni volta che si compie una misura, ogni qual volta si mette alla prova una qualunque ipotesi, si fa in realtà riferimento, si mette in discussione una teoria o anche un gruppo di teorie. Il confronto tra enunciati teorici ed esperienza è sempre confronto tra una e più teorie e l'esperienza.

La fisica non è una macchina che si lasci smontare, non si può metterne alla prova ogni pezzo isolatamente e attendere, per sistemarlo, che la solidità ne sia stata minuziosamente controllata; la scienza fisica è un sistema che si deve prendere tutto intero, è un organismo di cui non si può far funzionare una parte senza che le parti più lontane da questa entrino in gioco, le une più, le altre meno, tutte in qualche misura¹⁵⁶.

Quando l'esperimento non riesce, quando le previsioni teoriche risultano smentite dai fatti, è l'intero insieme di teorie che dai calcoli e dagli strumenti usati sono implicate ad essere falsificate, mai la singola ipotesi. È impossibile falsificare un'ipotesi isolata: « Un'esperienza di fisica non può mai condannare una ipotesi isolata, ma soltanto tutto un insieme teorico »¹⁵⁷.

Le cosiddette esperienze cruciali sono tali solo in apparenza, in realtà mai portano a rigore all'eliminazione di una ipotesi, ma mostrano l'imperfezione di tutto un sistema teorico di cui quella particolare ipotesi fa parte. Noi siamo quindi, dal punto di vista logico, liberi di attribuire le ragioni dell'insuccesso a questo o a quell'altro aspetto del sistema teorico implicato nell'esperienza e negare che il responso dell'esperimento suoni a definitiva condanna di un'ipotesi particolare. Non sono possibili esperimenti cruciali falsificanti.

Questa tesi di Duhem è stata ripresa in epoca successiva da Quine¹⁵⁸, che ha esteso ulteriormente il grado di interconnessione tra concetti scientifici, arrivando a considerare « tutta la scienza » un sistema organico non scindibile e sostenendo quindi che, a rigore, ciò che l'esperienza può falsificare è « tutta la scienza ». La tesi Duhem — Quine è stata poi oggetto di grandi discussioni che hanno investito nodi centrali dell'attuale dibattito epistemologico¹⁵⁹.

¹⁵⁵ *Ibid.*, p. 300.

¹⁵⁶ *Ibid.*, pp. 307-8.

¹⁵⁷ *Ibid.*, p. 301.

¹⁵⁸ Quine, 1906.

¹⁵⁹ Cfr. n. 35 Cap. II.

Naturalmente uno studio su Duhem non può porsi il compito di intervenire a livello teoretico in quel dibattito, ma può e deve cercare di chiarire il significato che in Duhem assume la cosiddetta « tesi Duhem - Quine ».

Si è visto nel capitolo precedente quale sia stata l'origine immediata della critica all'esperimento cruciale, origine legata all'analisi delle moderne teorie ottiche imposta a Duhem dai più recenti successi della teoria elettromagnetica della luce, *massime* le esperienze di Hertz. Coloro che ritenevano tali esperienze decisive ai fini della vittoria di Maxwell si comportavano metodologicamente come i positivisti, come Claude Bernard, il più prestigioso sostenitore dell'idea di esperimento cruciale, contro cui la critica duhemiana è esplicitamente diretta.

Se l'ottica era l'origine prossima, vi era anche un'origine remota, che risaliva allo studio della termodinamica, allo studio della battaglia tra Berthelot e Sainte-Claire Deville. Questo studio aveva convinto Duhem che, di fatto, la falsificazione di una ipotesi non è mai una questione semplice, che un'esperienza possa risolvere una volta per tutte: « La storia della meccanica chimica — scriveva concludendo la *Introduction a la mécanique chimique* — ci suggerisce ancora un'altra conclusione: è raro che le contraddizioni dell'esperienza siano sufficienti a sbarazzare la scienza di una teoria erronea; i partigiani di questa teoria trovano sempre qualche sotterfugio per deviare, mostrando di interpretarli, i fatti che li convincono dell'errore »¹⁶⁰. Era questa una notazione storico-psicologica che trovava un supporto logico nella critica dell'esperimento cruciale del 1894. Duhem nel 1892, in *Quelques réflexions* era andato anche oltre, scrivendo: « Una buona teoria non è una teoria di cui nessuna conseguenza è in disaccordo con l'esperienza; a sostenere questa tesi non ci sarebbe nessuna buona teoria »¹⁶¹. Altri, del resto, erano convinti che la falsificazione di una ipotesi fosse un processo ben più complesso del semplice manifestarsi di un'esperienza contraria. George Sorel nel 1892 scriveva: « Fino a che un'alternativa completa non è sorta, le ipotesi non cadono per effetto della semplice refutazione. Così oggi l'atomismo è difeso in maniera penosa dai suoi sostenitori, ma ciononostante rimane in piedi »¹⁶².

Mi sembra sensato sostenere, perciò, che la nozione di falsificazione

¹⁶⁰ Duhem, 1893 a, p. 176.

¹⁶¹ Duhem, 1892 a, p. 149.

¹⁶² Sorel, 1891-2, p. 584.

tramite esperienza fosse apparsa a Duhem poco interessante e scarsamente decisiva nella storia della scienza in primo luogo dallo studio della storia della scienza stessa. Prima che schema d'argomentazione logico la critica dell'esperimento cruciale falsificante si presentò in Duhem come rivelazione di carattere storico. L'analisi epistemologica servì a chiarire per quali motivi di ordine logico la storia della scienza mostrasse tanto « disinteresse » degli scienziati per le esperienze in apparenza falsificanti. La storia escludeva a priori per Duhem la possibilità di caratterizzare la conoscenza scientifica come insieme di proposizioni falsificabili.

Tutta la prima parte della critica duhemiana all'esperimento cruciale è rivolta contro la possibilità di compiere esperienze cruciali falsificanti: « Una esperienza di fisica non può mai condannare un'ipotesi isolata »¹⁶³. Del tutto inesatta è dunque l'affermazione di Popper, secondo cui « Duhem nega la possibilità di esperimenti cruciali, perché pensa ad essi come verificazioni, mentre io asserisco la possibilità di esperimenti cruciali falsificanti »¹⁶⁴.

La tesi di Duhem riguarda poi le singole ipotesi, non intere teorie; le teorie sono invece considerate falsificabili. Qui per la verità il pensiero di Duhem non è chiaramente espresso. Si tratta di teorie intese come sistemi deduttivi, oppure gruppi di ipotesi usate contemporaneamente ma non inserite in un unico sistema deduttivo, oppure ancora gruppi di teorie deduttive? Ciò che può essere falsificato volta a volta è indicato come « tutto un insieme teorico », « tutto un insieme di teorie », « tutto l'insieme di proposizioni ammesse », « l'intero sistema della teoria fisica », un « sistema » di proposizioni, « tutto un insieme di ipotesi »¹⁶⁵. Le sue affermazioni epistemologiche e gli esempi trattati sembrano a volte far pensare che, stanti i profondi legami esistenti tra i vari capitoli della fisica, ciò che l'esperienza può falsificare è l'intera teoria fisica (meccanica, ottica, idraulica, ecc.); altre volte sembra che si tratti di una teoria particolare, ad esempio la teoria dell'emissione, oppure l'ottica di fine Ottocento¹⁶⁶. È comunque sicuro

¹⁶³ Duhem, 1906 a, p. 301.

¹⁶⁴ Popper, 1970, p. 67 nota.

¹⁶⁵ Le citazioni sono tratte da Duhem, 1906 a, rispettivamente alle pp. 300, 301, 306, 307, 328.

¹⁶⁶ *Ibid.*, pp. 304-5.

che se Duhem negò la possibilità di falsificare la singola ipotesi, mai negò, anzi in varie parti sembra affermarlo, la possibilità di falsificare una teoria. La critica che Grünbaum ha rivolto alla tesi di Duhem non pare perciò colpire un bersaglio reale. In vari articoli¹⁶⁷ Grünbaum ha sostenuto che la tesi di Duhem è falsa perché si è in grado di costruire un controesempio: la falsificazione della geometria fisica. Anche trascurando di discutere se effettivamente Grünbaum abbia dimostrato la possibilità di falsificare la geometria fisica, va osservato che questa è, fuor di ogni dubbio, una teoria, non un'ipotesi isolata. Ma in Duhem, lo abbiamo visto, non viene affatto negata la possibilità di falsificare una teoria.

La seconda critica rivolta da Grünbaum a Duhem è che, anche ammettendo che un'esperienza non possa falsificare un'ipotesi, non vi è modo di garantire che quest'ipotesi possa essere salvata effettivamente. Per Grünbaum, cioè, Duhem avrebbe sostenuto che detta H l'ipotesi che dobbiamo mettere alla prova, A il gruppo di ipotesi ausiliarie per mezzo delle quali da H è possibile dedurre una previsione osservativa O , detta O' l'osservazione effettivamente compiuta incompatibile con O , non solo la falsità di H non è dimostrata dalla premessa:

$$[(H \cdot A) \rightarrow O] \cdot O'$$

ma è anche sostenibile « per principio »¹⁶⁸ l'esistenza di un nuovo gruppo di ipotesi ausiliarie A' tali da salvare H , cioè:

$$(\exists A')[(H \cdot A') \rightarrow O']$$

Questa è una versione della tesi di Duhem chiaramente insostenibile, ed ha ragione Grünbaum ad osservare: « Come può Duhem assicurare che esiste un tale gruppo A' non triviale per ognuna delle ipotesi componenti H i n d i p e n d e n t e m e n t e dal dominio di scienza empirica cui H appartiene? Sembra che questa assicurazione non possa affatto essere data su basi logiche generali, ma che la esistenza del richiesto gruppo A' richieda *separata e concreta* dimostrazione per ogni caso particolare »¹⁶⁹. Ma questa è un'osservazione che Duhem avrebbe condiviso in tutta tranquillità. Egli non affermò mai che il fatto che l'esperienza

¹⁶⁷ Ad esempio Grünbaum, 1962, 1969 e 1976.

¹⁶⁸ Grünbaum, 1976, p. 117.

¹⁶⁹ *Ibid.*, p. 118.

non possa falsificare un'ipotesi in modo definitivo sia equivalente alla possibilità di salvare effettivamente quell'ipotesi. Non è vero per Duhem che qualunque ipotesi possa servire a spiegare qualunque esperienza del dominio di cui si vuole occupare. Questa fu la tesi sostenuta da Le Roy, ma non da Duhem, che sempre criticò la fiducia nella possibilità di falsificare le ipotesi, senza ammettere per vere altre ipotesi, mai scrisse che fosse sempre e comunque, « per principio », possibile cambiare le ipotesi assunte come vere in modo da riuscire a salvare l'ipotesi « preferita ». « L'esperienza non designa quale [ipotesi] debba essere cambiata »¹⁷⁰, ma ciò non significa che sia sempre possibile cambiarne una a piacere. L'esperienza dice che non va definitivamente lasciata cadere la speranza di riuscire a salvare una particolare ipotesi, ma in ogni situazione storica spetta agli scienziati far vedere se il salvataggio è effettivamente possibile.

Vi è infine da sottolineare che l'identificazione tanto spesso fatta tra Duhem e Quine a proposito delle difficoltà delle procedure di falsificazione misconosce completamente il differente obiettivo di fondo che si sono posti questi due studiosi. Mentre Quine intende attaccare la tradizionale distinzione tra proposizioni analitiche e proposizioni sintetiche, Duhem vuole sostenere la tesi opposta, marcando le enormi differenze che esistono tra le procedure della matematica, in cui è possibile la negazione di un enunciato per riduzione all'assurdo, e le procedure della fisica, in cui simile possibilità non sussiste e solo in apparenza la falsificazione « sembra tanto convincente, tanto irrefutabile quanto la riduzione all'assurdo abituale per i geometri »¹⁷¹.

Se l'esperienza non permette di falsificare un'ipotesi isolata, tanto meno permette esperimenti cruciali verificati di tipo baconiano, che pretendono di provare la verità di una ipotesi dimostrando la falsità di una ipotesi rivale. Anche ammettendo che sia possibile falsificare una singola ipotesi, questo non garantirebbe affatto la verità della rivale (come invece accade in geometria), perché nessuno può assicurare che non esista

¹⁷⁰ Duhem, 1906 a, p. 307.

¹⁷¹ *Ibid.*, p. 303.

una terza ipotesi possibile, o una quarta ancora migliore, e così via. « La verità di una teoria fisica non si decide a testa o croce »¹⁷².

Non una singola ipotesi può confrontarsi in modo decisivo con l'esperienza, non una singola esperienza può sensatamente ergersi a giudice di teorie rivali. « Il solo controllo sperimentale della teoria fisica che non sia illogico, consiste nel confrontare il sistema intiero della teoria fisica a tutto l'insieme delle leggi sperimentali »¹⁷³.

Ogni forma di induttivismo che pretenda di costruire teorie riunendo pezzi provati e garantiti precedentemente alla teoria stessa, di costruire prima le leggi, provate ad una ad una, e poi la teoria, è a priori impossibile. Ma lo è anche a posteriori, cioè l'induttivismo si rivela filosofia inconsistente anche nel confronto con la storia, confronto svolto da Duhem proprio su alcuni casi storici che apparentemente meglio di ogni altro si presterebbero a confermare la filosofia induttivista.

Il bersaglio di Duhem è qui costituito da alcuni fisici francesi sostenitori di metodologie induttiviste come Robin e Bertrand¹⁷⁴, ma soprattutto, è ancora una volta Poincaré. Questi in *La Science et l'Hypothèse* aveva sostenuto la possibilità di mettere alla prova una sola ipotesi alla volta separandola dalle altre mediante opportune scelte convenzionali. È l'eredità del Newton filtrato dal positivismo che, per Duhem, continua a pesare su queste posizioni, il Newton che prescrive di costruire le teorie fisiche traendole dai fenomeni e generalizzando per induzione.

Ma Newton, in realtà, non si era affatto comportando secondo i canoni dell'induttivismo. Proprio il caso storico tanto caro agli induttivisti, citato da Jamin, da Bouasse¹⁷⁵ e da tanti altri, il passaggio dalle leggi di Kepler alla teoria gravitazionale di Newton, non fu affatto il frutto di un approccio induttivo. Riprendendo ed ampliando l'analisi compiuta in *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* Duhem mostra che le leggi di Kepler non sono servite come base empirica alla costruzione della teoria newtoniana. Per servire a questo scopo esse, puramente cinematiche, hanno dovuto essere « trasformate »¹⁷⁶ in modo da poter parlare delle forze, divenendo così parti della dinamica. Ma

¹⁷² *Ibid.*, p. 312.

¹⁷³ *Ibid.*, p. 328.

¹⁷⁴ Cfr. Bertrand, 1890.

¹⁷⁵ Jamin, 1881, I, p. 2; Bouasse, 1895, p. 91 e ss.

¹⁷⁶ Duhem, 1906 a, p. 319.

questa trasformazione, questa traduzione, si è potuta compiere solo grazie alla teoria della dinamica. Le leggi di Kepler, per essere impiegate da Newton, presuppongono già la fiducia nella dinamica, non possono essere perciò la base fondante di questa teoria:

Questa nuova forma delle leggi di Kepler è una forma simbolica; solo la dinamica dà un senso alle parole *forza* e *massa* che servono a enunciarla; solo la dinamica permette di sostituire le nuove formule simboliche alle antiche formule realiste, gli enunciati relativi alle *forze* e alle *masse* alle leggi relative alle orbite. La legittimità di tale sostituzione implica la piena fiducia nelle leggi della dinamica¹⁷⁷.

Non solo è necessario tradurre Kepler nel linguaggio di Newton per poterlo usare ma, dopo aver compiuto la traduzione, ci si accorge che vi è solo un accordo assai imperfetto tra le orbite kepleriane e quelle previste dalla teoria di Newton: « Ben lungi dal potersi trarre per generalizzazione e induzione dalle leggi che Kepler ha formulato, il principio di gravitazione universale le contraddice formalmente. Se la teoria di Newton è esatta, le leggi di Kepler sono necessariamente false »¹⁷⁸.

Per trovare un accordo, per dare valore alla teoria di Newton occorre calcolare le perturbazioni che producono gli scarti dalle orbite kepleriane, quindi confrontare le perturbazioni calcolate con le perturbazioni osservate. Questo lavoro richiede l'impiego della intera teoria newtoniana, nonché dell'ottica, della statica dei gas, della teoria del calore, per giustificare le proprietà dei telescopi, per eliminare gli errori causati dall'aberrazione diurna e annuale e dalla rifrazione atmosferica. Ancora una volta, dunque, « non si tratta piú di prendere una ad una delle leggi giustificate dall'osservazione e di elevare ciascuna di esse, per induzione e generalizzazione, al rango di principio; si tratta di confrontare i corollari di tutto un insieme di ipotesi a tutto un insieme di fatti »¹⁷⁹.

Le teorie scientifiche non si possono spezzare, le loro parti non sono dimostrabili né sicuramente false, né sicuramente vere e neppure possono essere giustificate in quanto induzioni e generalizzazioni. La teoria è necessariamente costruzione ipotetica, i cui principi astratti sono giustificati dall'accordo tra un complesso di esperienze e il complesso

¹⁷⁷ *Ibid.*, p. 319.

¹⁷⁸ *Ibid.*, p. 317.

¹⁷⁹ *Ibid.*, p. 319.

delle conseguenze che da essi si possono trarre. Duhem fu il primo studioso a enunciare con grande chiarezza e con grande rigore quella che è oggi detta « concezione ipotetico-deduttiva » delle teorie. Molti, da Whewell a Mach avevano sottolineato la natura ipotetica delle leggi, ma nessuno come Duhem vide con tanta chiarezza che la natura ipotetica delle leggi non dipende dai limiti della conoscenza sperimentale che ci obbliga sempre a generalizzare in via ipotetica, ma deriva dalla circostanza che ogni enunciato scientifico dipende da una teoria. Non sono i limiti dell'esperienza, sono i caratteri del linguaggio scientifico che rendono l'ipotesi ineliminabile. La vera origine dell'ipoteticità degli asserti scientifici sta nel fatto che essi sono parti di una teoria, ma non parti che possano definire la teoria. Al contrario, è la teoria che definisce, dà senso alle sue parti. La teoria non può trovare fuori di sé fondamenta già consolidate perché è essa stessa che deve costruire queste fondamenta. La teoria deve però necessariamente partire da ciò che non è fondato, deve partire da ipotesi che non hanno, non vogliono e non possono avere una portata empirica immediata. Esse servono principalmente alla costruzione di una teoria.

L'analisi epistemologica compiuta da Duhem giunge così a confermare e chiarire la definizione sintetica di teoria scientifica posta all'inizio della *Théorie*:

(a) Tra le proprietà fisiche che ci proponiamo di rappresentare scegliamo quelle che considereremo delle proprietà *semplici*; mentre le altre saranno rappresentate come raggruppamenti o combinazioni di queste. Facciamo loro corrispondere, per mezzo di metodi di misura appropriati, altrettanti simboli matematici, numeri, grandezze; questi simboli matematici non hanno alcuna relazione di natura con le proprietà che essi rappresentano ...

(b) Colleghiamo tra di loro le diverse grandezze così introdotte per mezzo di un piccolo numero di proposizioni che serviranno da principi alle nostre deduzioni; questi principi possono essere detti *ipotesi* nel senso etimologico della parola, perché sono veramente i fondamenti su cui si edificherà la teoria, ma non pretendono in alcun modo di enunciare delle vere relazioni tra le proprietà reali dei corpi. Queste ipotesi possono dunque essere formulate in modo arbitrario ...

(c) I diversi principi o ipotesi di una teoria sono combinati insieme secondo le regole dell'analisi matematica. Le esigenze della logica algebrica sono le sole che il teorico è tenuto a rispettare nel corso di questo sviluppo. Le grandezze su cui vertono i suoi calcoli non pretendono affatto di essere delle realtà fisiche .. importa poco che le operazioni che esegue corrispondano o meno a delle trasformazioni fisiche reali o almeno concepibili ...

(d) Le diverse conseguenze così tratte dalle ipotesi possono tradursi in altrettanti giudizi vertenti sulle proprietà fisiche dei corpi; i metodi adatti a definire e a misurare queste proprietà fisiche sono come il vocabolario, come la chiave che permette di fare questa traduzione; questi giudizi li si compara alle leggi sperimentali che la teoria si propone di rappresentare. Se essi concordano con queste leggi, al grado di approssimazione che comportano i procedimenti di misura impiegati, la teoria ha raggiunto il suo scopo, è dichiarata buona, altrimenti essa è cattiva e deve essere modificata o respinta¹⁸⁰.

Questa concezione delle teorie, tanto lucidamente espressa, sarà poi ripresa nel Novecento da un gran numero di studiosi, non sempre riconoscendo (o forse non conoscendo) la priorità spettante a Duhem. Essa pare essere ampiamente giustificata dalle analisi epistemologiche in precedenza esaminate, e tuttavia continua a porre il quesito di fondo già presentatosi a più riprese e che si pone ora con maggior drammaticità: se nella scelta di una particolare traduzione numerica di una misurazione, e nella scelta di una particolare funzione che simbolizzi una legge sperimentale, il criterio fondamentale è costituito dalla concordanza con una o più teorie, il fatto che, a loro volta, le teorie siano fondate su scelte (quelle delle « ipotesi » o principi) « arbitrarie » non finisce forse per proiettare una luce inevitabilmente convenzionalista su tutta l'epistemologia duhemiana? Se noi scegliamo risultati sperimentali e leggi empiriche in base a teorie che sono a loro volta scelte ad arbitrio, non si deve forse concludere che tutta la scienza è fondata su scelte arbitrarie? Ma allora, tutte le enunciazioni « realiste » e « conoscitive » di Duhem non sono da considerarsi aggiunte ideologiche insostenibili in termini rigorosi e non fu forse Duhem, come sostiene Lakatos, un « rivoluzionario non coerente »?¹⁸¹

In realtà Duhem pensava che la scelta delle ipotesi fosse così poco arbitraria da terminare la *Théorie* con un lungo capitolo dedicato proprio al problema della « scelta delle ipotesi », in cui sostiene che non solo tale scelta non è arbitraria, ma non è neppure una scelta.

8. - LA SCELTA DELLE IPOTESI.

Il problema della scelta dei principi da porre a fondamento delle teorie si era posto per la prima volta a Duhem nel contesto della pole-

¹⁸⁰ *Ibid.*, pp. 26-8.

¹⁸¹ Lakatos, 1976 a, p. 179, n. 44.

mica sulla fisica anglosassone. In *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* aveva sostenuto che « Noi siamo assolutamente liberi di scegliere le ipotesi come ci pare; posto che le conseguenze logicamente dedotte da queste ipotesi per mezzo dell'analisi matematica ci forniscano il simbolo di un gran numero di leggi sperimentali esatte, nessuno ha il diritto di chiederci di render conto di quali considerazioni ci hanno dettato la scelta ». Di fatto la scelta non viene fatta a caso, esistono « metodi generali secondo cui sono prese le ipotesi fondamentali »¹⁸².

Già l'applicazione di criteri apparentemente minimali quali la richiesta del rigore logico e dell'accordo tra fatti e deduzioni verificabili empiricamente consente di eliminare teorie assai potenti come quella di Maxwell. Quando poi ci si trovasse di fronte a teorie logicamente perfette ed empiricamente equivalenti, si « possono »¹⁸³ compiere delle scelte in base all'estensione, al numero delle ipotesi, alla semplicità e alla naturalezza¹⁸⁴.

Questo articolo mi pare abbia vari aspetti che valgono la pena di essere considerati. Duhem assume qui una posizione chiaramente convenzionalista: le ipotesi di una teoria sono arbitrarie; ovviamente di fatto occorre scegliere non a caso ma in base a certi criteri e questi criteri sono quelli tipici o del soggettivismo (minor numero delle ipotesi, semplicità, naturalezza, ecc.). Come ho già detto nel precedente capitolo, qui Duhem è effettivamente vicinissimo al cliché del semplicismo duhemiano.

Il convenzionalismo di Duhem è però ancora privo del suo aspetto più profondo e significativo, la critica della base empirica. Qui viene infatti ammessa ancora una netta distinzione tra fisica teorica e fisica sperimentale e, conseguentemente, prevale una concezione induttivista delle leggi sperimentali: « Ai filosofi spetta analizzare il meccanismo del procedimento induttivo che permette di passare dai fatti alle leggi; discutere la generalità e la certezza delle leggi così stabilite »¹⁸⁵.

Alla teoria è riservato il compito schiettamente strumentale di « soccorrere la memoria e aiutarla a ritenere più facilmente la moltitu-

¹⁸² Duhem, 1892 a, p. 146.

¹⁸³ *Ibid.*, p. 169.

¹⁸⁴ *Ibid.*, p. 170.

¹⁸⁵ *Ibid.*, p. 140.

dine di leggi sperimentali »¹⁸⁶ e nessun accenno viene fatto all'idea di « classificazione naturale ».

Come si è visto nel capitolo precedente, negli anni successivi il pensiero di Duhem conobbe importantissimi arricchimenti, che lo portarono a mutare il quadro in cui si ponevano le riflessioni contenute nell'articolo del 1982: per combattere la battaglia contro la fisica inglese fu costretto ad introdurre l'idea di classificazione naturale, che dava un nuovo senso realista al concetto di teoria come classificazione; l'analisi della fisica sperimentale, compiuta per discutere soprattutto le esperienze di Hertz, gli permise di approfondire ed articolare il ruolo della teoria nei suoi rapporti con l'esperienza e di meglio conoscere la reale dinamica storica che sottende la scelta delle ipotesi teoriche; lo studio dello sviluppo delle piú controverse teorie di fine secolo, ottica elettromagnetica e teoria del calore, gli offrì infine la visione di un progresso, certo non lineare quale lo concepiva il positivismo, ma che, proprio in forza della sua complessità, rinviava all'idea di un dio garante del buon andamento della storia della scienza. Quest'idea era poi confermata via via piú ampiamente, come si vedrà in dettaglio nel prossimo capitolo, dai sempre piú approfonditi studi di storia della scienza estesi all'antichità e al medioevo.

Nel 1906 Duhem *non era piú disposto* a sottoscrivere queste parole scritte nel 1893:

Tra un insieme di leggi sperimentali prese tali e quali l'esperienza le ha fatte scoprire e lo stesso insieme di leggi legate da una teoria c'è la stessa differenza che esiste tra un ammasso di documenti ammicchiati a casaccio e gli stessi documenti scrupolosamente classificati in una raccolta metodica; questi sono gli stessi documenti, dicono esattamente la stessa cosa nello stesso modo; ma nel primo caso il disordine li rende inutili ... Le leggi fisiche conservano esattamente lo stesso senso quando una teoria le collega e quando sono disseminate e isolate ... La teoria fisica, classificando un insieme di leggi sperimentali, non ci insegna assolutamente nulla sulle ragioni d'essere di queste leggi e sulla natura dei fenomeni che esse reggono¹⁸⁷.

Non era piú disposto ad ammettere che le « leggi sperimentali » siano « fatte scoprire dall'esperienza » perché aveva mostrato tutte le componenti teoriche presenti in un enunciato sperimentale, né poteva dichiarare che le leggi « conservano sempre lo stesso senso » indipendentemente

¹⁸⁶ *Ibid.*, p. 140.

¹⁸⁷ Duhem, 1893 c, p. 65.

dalla teoria in cui risultano inserite in quanto aveva affermato che il senso di ogni legge dipende dalle teorie che si accettano, e neppure poteva accogliere l'asserzione che la teoria « non ci insegna assolutamente nulla » avendo sostenuto contro gli inglesi, contro Poincaré, contro lo stesso Mach l'idea di classificazione naturale. Duhem aveva inserito le considerazioni epistemologiche piú importanti del 1892 e dei primi mesi del 1893 in un quadro teorico realista e non semplicemente strumentalista; la *Théorie* era un libro scritto anche contro lo strumentalismo radicale e il problema della scelta delle ipotesi non poteva piú essere affrontato nella forma pericolosamente soggettivista con cui era stato affrontato nel 1892.

Se in quell'anno il problema della scelta delle ipotesi (cioè delle teorie) veniva risolto con l'appello a criteri che permettono scelte « a colpo sicuro » tipicamente convenzionalisti, quali la naturalezza, la semplicità, il minor numero di ipotesi necessarie, nella *Théorie* tale problema viene spostato dal terreno della logica, dei criteri metodologici, al terreno della storia. I criteri di scelta soggettivi tanto cari al convenzionalismo strumentalista non trovano piú spazio perché di fatto, anche se essi sono possibili dal punto di vista astratto, lo scienziato in concreto non li usa per compiere le proprie scelte. Non li impiega perché nel concreto della evoluzione storica lo scienziato non fa scelte di sorta, è la teoria, è l'ipotesi che germina in lui senza il suo consenso.

Questa tesi può apparire, a seconda dei punti di vista, paradossale, banale o puramente ideologica e accolta, ancora una volta, per non condurre sino in fondo le conseguenze piú radicali dell'epistemologia duhemiana. Pure essa è, fuor di ogni dubbio, una tesi di fondamentale importanza nel pensiero duhemiano, la conclusione della *Théorie*, la « soluzione finale » dei problemi posti dal rapporto tra analisi critiche epistemologiche apparentemente strumentaliste e concezione globale dell'impresa scientifica. Vale la pena, dunque, di cercare di comprenderla a fondo senza accantonarla frettolosamente con sbrigative etichette.

Si tratta qui di affrontare uno dei piú diffusi schemi interpretativi della storia della filosofia: il convenzionalismo (e quello duhemiano in particolare) propone una visione della conoscenza scientifica che procede in base a criteri di scelta soggettivi, massime il criterio della semplicità. La semplicità è il motore della storia della scienza per ogni convenzionalista: « L'opinione convenzionalista — dice Agassi — secondo cui noi preferiamo la teoria semplice a quella meno semplice, non una teoria

vera ad una falsa, si è rivelato un utile strumento nelle mani dello storico della scienza, come il fisico, filosofo e storico della scienza Pierre Duhem illustra nelle sue opere »¹⁸⁸. Il passo di Duhem che viene sempre e ovunque citato a sostegno della visione « semplicista » è il seguente:

Può essere che noi troviamo insensata la fretta con cui un fisico ha rovesciato i principi di una teoria vasta e armoniosamente costruita, allorquando una modificazione di dettaglio, una leggera correzione, sarebbero state sufficienti a mettere questa teoria in accordo con i fatti. Può darsi, al contrario, che noi troviamo puerile e irragionevole l'ostinazione con cui il primo fisico conserva a tutti i costi, al prezzo di continue riparazioni e molti complicati puntelli le corrose colonne di un edificio vacillante in ogni parte, quando, abbattendo queste colonne sarebbe stato possibile costruire un semplice, elegante e solida sistema¹⁸⁹.

Anche se credo non sia segno di serietà storiografica fondare l'interpretazione di un autore che ha scritto svariate migliaia di pagine su una citazione di poche righe, si può partire proprio da questa « base documentaria » del mito del semplicismo duhemiano per affrontare la questione.

Il brano citato è posto alla fine del capitolo dedicato alla critica all'esperienza cruciale e vuole essere la precisazione e la critica di un possibile uso troppo marcatamente convenzionalista di quella tesi, uso fatto da Le Roy e da Poincaré quando avevano affermato che alcune proposizioni scientifiche non sono falsificabili, sono al di sopra delle smentite dell'esperienza. Questo per Duhem è « un grave errore »¹⁹⁰ che discende dalla mancata comprensione della natura delle proposizioni scientifiche. È vero, dal punto di vista duhemiano, che talune proposizioni scientifiche non si possono falsificare direttamente, ma ciò dipende dal particolare ruolo che esse svolgono entro le teorie. Prese isolatamente, alcune ipotesi « non hanno alcun senso sperimentale; non si può porre la questione della loro conferma, né della loro smentita sperimentale ». Esse servono unicamente a costruire una teoria ed è questa teoria, nella sua interezza, che si può sensatamente porre a confronto con l'esperienza. La prova della teoria nel suo complesso è l'unica prova che si può chiedere a tutte le ipotesi che compongono la teoria. « Le ipotesi che non hanno in se stesse alcun senso fisico subiscono il controllo dell'esperienza

¹⁸⁸ Agassi, 1978, p. 50.

¹⁸⁹ Duhem, 1906 a, p. 357.

¹⁹⁰ *Ibid.*, p. 354.

esattamente allo stesso modo delle altre ipotesi »¹⁹¹. In questo senso non esistono ipotesi al di sopra dell'esperienza; tutte sono falsificabili attraverso la falsificazione della teoria di cui fanno parte.

Duhem vuole dunque distinguersi da una interpretazione troppo radicalmente convenzionalista (« un grave errore ») della complessa procedura mediante la quale le proposizioni scientifiche sono messe alla prova e sostiene che, in qualche modo, tutte le proposizioni scientifiche possono essere falsificate. Certo si tratta di una falsificazione che non gode della sicurezza che è propria delle dimostrazioni della logica: poiché noi a rigore falsifichiamo intere teorie, è razionale tanto rigettare alcune ipotesi su cui quelle teorie sono fondate, quanto ritoccare queste in parti secondarie. Dal punto di vista logico è sempre aperta la possibilità di scegliere tra il tentativo di salvataggio e l'abbandono della singola ipotesi o di un gruppo di ipotesi. E l'abbandono, per l'appunto, può avvenire quando, lasciando cadere le vecchie ipotesi, si è capaci di edificare un nuovo edificio « più semplice, elegante, solido ».

Nel brano citato Duhem intende soprattutto sottolineare (e questo è evidentemente il succo di tutta la sua critica agli esperimenti cruciali falsificanti) che l'atteggiamento di chi sceglie di abbandonare una ipotesi per ragioni di semplicità è solo *uno* dei possibili atteggiamenti razionali, essendo altrettanto lecito l'atteggiamento conservatore. Si può falsificare la vecchia teoria in base al criterio della semplicità ma, ammonisce Duhem, è sbagliato credere che si debba farlo. Duhem sta qui predicando dunque la tolleranza: la semplicità, ci dice, è un criterio possibile. Ma dall'accettare questo discorso al fare del criterio della semplicità il criterio guida del convenzionalismo duhemiano passa la stessa differenza che esiste tra il dire che Voltaire predicava la tolleranza verso tutte le religioni e l'affermare che lo stesso Voltaire era maomettano!

Il brano tanto spesso citato ha perciò nel discorso duhemiano una duplice finalità: vuol dirci come si falsificano, si abbandonano le ipotesi, ci vuol mettere in guardia contro l'errore di credere che il criterio della semplicità sia un criterio normativo.

La tradizionale interpretazione che di esso viene data stravolge completamente entrambe queste finalità: il criterio di semplicità sarebbe infatti normativo nel senso che per il convenzionalista è razionale scegliere la teoria più semplice, irrazionale tenere la più complessa, e sarebbe un

¹⁹¹ *Ibid.*, pp. 354-5.

criterio di scelta di nuove ipotesi anziché criterio di falsificazione. Laddove Duhem dice: « con la semplicità puoi rigettare delle ipotesi », gli si fa dire « con la semplicità devi scegliere alcune ipotesi ».

Si potrà obiettare che, sia pure non normativo, il criterio della semplicità è pur sempre presentato come criterio di scelta, non di sola falsificazione, perché rigettare una teoria in favore di un'altra significa appunto scegliere l'altra. Eppure per Duhem non è così. Il passo in discussione è posto alla fine del capitolo sull'esperimento cruciale ed è significativamente escluso dal capitolo successivo, quello espressamente dedicato alla « scelta delle ipotesi ». E non si tratta di esclusione dovuta a ragioni di economia distributiva del vario e complesso materiale della *Théorie*, ma, al contrario, essa svela un profondo e importantissimo mutamento intervenuto rispetto al testo del 1892. Qui la semplicità era effettivamente indicata come criterio *di scelta*, ora si sostiene invece che quel criterio (così come tutti i criteri derivati o collegati, quali eleganza, solidità, ecc.), non opera affatto nella storia della scienza, non presiede affatto alle scelte dello scienziato. Quello che nel lavoro giovanile era il criterio di scelta delle ipotesi è ora collocato fuori dal capitolo dedicato alla scelta delle ipotesi. Qui tocchiamo veramente uno dei punti più importanti della *Théorie*, qui si rivela con chiarezza estrema come Duhem dalle giovanili enunciazioni strumentaliste fosse passato ad una posizione realista e come la *Théorie* rappresenti un testo di battaglia contro lo strumentalismo: lo strumentalismo esaltava criteri soggettivi di scelta, *massime* la semplicità, Duhem esclude che tali criteri guidino l'effettiva pratica scientifica e ripudia le proprie posizioni giovanili arrivando a sostenere che lo scienziato non sceglie, viene scelto.

Prima però di passare ad esaminare il capitolo espressamente dedicato alla scelta delle ipotesi sarà utile fare una ulteriore considerazione sul presunto semplicismo duhemiano. Se si passa dall'esame di quelle poche righe della *Théorie* ad una più ampia considerazione dell'opera duhemiana, allora la pretesa di identificare la ricerca della semplicità con lo schema storiografico esplicativo di fondo elaborato da Duhem si mostra ancor più insostenibile.

È innanzi tutto evidente che per Duhem il criterio fondamentale per giudicare una teoria è la sua capacità di presa sull'esperienza. In

questo egli è, senza problemi, ancorato ad una concezione tipicamente positivista di progresso inteso come sempre maggior estensione della teoria. Entro questo quadro non si pone, banalmente, alcun problema di ricorrere a criteri di scelta soggettivi quando ci si trovi di fronte a due teorie che non siano empiricamente equivalenti, non sappiano organizzare l'esperienza con la stessa ampiezza e lo stesso grado di precisione. In questo caso è l'esperienza che opera la scelta.

Il problema si pone quando si hanno a disposizione due teorie equivalenti dal punto di vista empirico. Ora, una prima constatazione da fare, e di importanza non trascurabile, è che il confronto tra due teorie empiricamente equivalenti pare, scorrendo le opere di Duhem, presentarsi *assai raramente*. Non è questo, ad esempio, il caso dello scontro tra copernicanesimo e teoria tolemaica: in *ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ* (Salvare i fenomeni) la vittoria del sistema copernicano, inteso come strumento calcolistico, è spiegata sempre in base alla *maggior precisione* che tale sistema permetteva di raggiungere nel Cinquecento nella costruzione delle tavole astronomiche. A volte (poche però!) accanto alla precisione viene indicata anche la semplicità, ma questo attributo non compare mai da solo, esso è sempre un'ulteriore qualità (che certo non guasta!) del sistema copernicano, ma da solo chiaramente insufficiente a spiegarne la vittoria. È un mito storiografico dei più diffusi che per il convenzionalismo il sistema copernicano fosse da ritenere superiore al rivale tolemaico perché più semplice, eppure Duhem ha sostenuto con tutta chiarezza che il sistema copernicano ha vinto presso gli astronomi in primo luogo perché *più preciso*. Commentando gli astronomi cinquecenteschi posteriori a Copernico, da Reinhold a Peucer, da Schreckenfuchs, da Piccolomini a Giuntini, Duhem *solo una volta*, a proposito di Reinhold, impiega il termine « semplicità » accanto a quello di « precisione », in tutti gli altri casi è sempre e soltanto presa in considerazione la precisione calcolistica ottenibile partendo dalle ipotesi copernicane, e Duhem così conclude la sua analisi della vittoria della teoria di Copernico presso gli astronomi: « Lo spirito della maggior parte degli astronomi durante i venti o trenta anni che sono seguiti alla pubblicazione del libro di Copernico ci appare chiaramente. L'opera dell'astronomo di Thorn attira vivamente la loro attenzione perché appariva assai adatta alla costruzione di tavole astronomiche *esatte* »¹⁹².

¹⁹² Duhem, 1908, p. 509.

L'equivalenza empirica tra teorie rivali non si dà neppure nella lotta tra le varie versioni del sistema tolemaico e le concezioni omocentriche o tra queste e concezioni ancor più antiche. Si consideri *Le Système du monde*, ove questa storia viene raccontata con grande minuzia e sfoggio di cultura: mai il passaggio da una teoria ad un'altra avviene invocando la semplicità, sempre si tratta di scegliere tra teorie che non sono empiricamente equivalenti, tranne che in un caso che si vedrà tra poco. Neppure le più moderne teorie contro cui Duhem ha combattuto, in primo luogo la teoria elettromagnetica, sono da considerarsi empiricamente equivalenti alle rivali. La teoria di Maxwell, a parere di Duhem, è non solo poco rigorosa e scarsamente coerente, essa è anche in chiara contraddizione con l'esperienza (ad esempio prevede una contrazione dei dielettrici polarizzati nella direzione delle linee di forza mai confermata sperimentalmente)¹⁹³ e non è da questo punto di vista affatto equivalente all'elettromagnetismo di Helmholtz.

In primo luogo, dunque, il criterio della semplicità si presenta irrilevante o addirittura superfluo per la stragrande maggioranza degli scontri teorici in quanto quasi sempre è l'esperienza che ci permette di scegliere. Va da sé, naturalmente, che il responso dell'esperienza è sempre soggetto al dubbio per via della critica agli esperimenti cruciali, ma questo dubbio non significa affatto che, come abbiamo visto, ogni ipotesi o gruppo di ipotesi si possa ritenere per principio equivalente empiricamente al rivale, cioè per principio capace di vincere le smentite dell'esperienza.

Già questa prima osservazione dovrebbe far dubitare che il criterio della semplicità possa essere visto come principio motore della storia della scienza duhemiana: come massimo esso potrà essere stato rilevante per pochi casi particolari, in cui *non* rientrano scontri importantissimi quali quelli tra Eudosso e Tolomeo, tra Tolomeo e Copernico, tra Maxwell e Helmholtz.

Ma anche nell'affrontare quei casi in cui si è in presenza di una equivalenza nella portata empirica di due teorie rivali, Duhem non considera mai la semplicità quale elemento decisivo, capace di generare una scelta dotata di una qualche solidità. L'unico esempio di teorie empiricamente equivalenti contenuto in *Le Système du Monde* è costituito dalle due diverse rappresentazioni astronomiche, per mezzo di epicicli oppure

¹⁹³ Duhem, 1891-2, II, p. 457.

per mezzo di eccentrici, che Apollonio da Perga aveva dimostrate equivalenti agli effetti osservativi nel 244 a. C. Ipparco di fronte a questa sorprendente scoperta si rifiutò di prender con decisione posizione a favore dell'una o dell'altra rappresentazione. Ora, a parere di Duhem, questo atteggiamento non fu dovuto ad incertezze o ad incapacità dell'astronomo ma, al contrario, fu atteggiamento di chi segue il vero metodo scientifico e di fronte a teorie equivalenti dal punto di vista osservativo e in assenza di altri riferimenti capaci di guidarne la scelta (quali potrebbero essere altre teorie già accettate) si rifiutò di scegliere e, pur impiegando in concreto una teoria perché giudicata più semplice, non condanna l'altra, non la relega nel campo dell'errore e la conserva come possibile strumento alternativo¹⁹⁴. È chiaro, in questo caso, che Duhem non considera la semplicità da sola un criterio minimamente sufficiente per fondare una scelta teorica definitiva.

Negli altri casi di teorie empiricamente equivalenti esaminati nel dettaglio da Duhem nelle sue varie opere la nozione di semplicità viene ancor più relegata sullo sfondo e perde di importanza. Un caso rilevante è costituito dalla opposizione tra la *mécanique analytique* di Lagrange e la *mécanique physique* di Poisson (sulla cui equivalenza empirica Duhem nutre d'altra parte vari dubbi). Nella ricostruzione che Duhem fa di questo scontro in *L'Évolution de la Mécanique* l'argomento fondamentale contro la teoria di Poisson riguarda il tipo di matematica impiegato: pur partendo dall'ipotesi della discontinuità del mondo materiale, la *mécanique physique* usa il calcolo integrale con un passaggio dal discontinuo al continuo assai problematico, e per questo va respinta. La considerazione del tipo di matematica impiegato al fine di effettuare una scelta tra teorie concorrenti è impiegata da Duhem anche contro la teoria cinetica dei gas che è costretta « a ricorrere al calcolo delle probabilità, malgrado le esitazioni e i dubbi che sembrano inerenti a questo ordine di ragionamenti »¹⁹⁵.

Che il criterio della semplicità svolga un ruolo del tutto secondario in Duhem non stupisce se ci si ricorda delle pagine già analizzate circa la dinamica storica del rapporto che si evidenzia nelle leggi scientifiche tra astratto e concreto. A parere di Duhem gli schemi simbolici che produce lo scienziato sono sempre troppo poveri per la realtà che essi vogliono simbolizzare. La modificazione dello schema avviene sempre attra-

¹⁹⁴ Duhem, 1913-59, I, p. 455 e ss.

¹⁹⁵ Duhem, 1903 a, p. 97.

verso una sua progressiva complicazione, tesa a rappresentare tutta la ricchezza dell'esperienza. Così è anche per le teorie: a parere di Duhem il progresso storico procede generalmente con un aumento di complessità della fisica teorica e solo in casi particolari (ad esempio la teoria di Copernico) si ha una semplificazione che, in ogni caso, da sola non può giustificare l'accettazione di una teoria.

Si consideri a questo proposito ancora *Le système du Monde*. Qui tutta la storia della astronomia antica e medioevale è raccontata come un progressivo aumento di complessità in funzione di un miglior adeguamento ai dati osservativi.

Così nella elaborazione della teoria di Eudosso « si vide il geometra partire da un certo numero di principi piú semplici che gli erano dati allora e, conformemente a questi principi, costruire un sistema matematico ipotetico, ritoccare, complicare questo sistema fino a che esso salvasse con una esattezza sufficiente le apparenze descritte dagli osservatori »¹⁹⁶. Quindi « dal tempo di Aristarco di Samo fino ai tempi di Tolomeo il genio greco si applicò, con straordinaria attività, alla soluzione del problema astronomico; i geometri ansiosi di salvare sempre piú esattamente le apparenze celesti, moltiplicarono le combinazioni abili dei movimenti circolari e uniformi mentre gli astronomi ripetevano le osservazioni sempre piú precise »¹⁹⁷. Anche Tolomeo, da parte sua, comprese « che per salvare sempre meglio le apparenze osservate, occorreva, di tanto in tanto, a delle ipotesi divenute insufficienti, sostituire nuove ipotesi piú complesse »¹⁹⁸.

Ed in ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ Duhem avverte che la complicazione della teoria non può essere considerata da sola un motivo per respingerla: « L'esatta rappresentazione dei movimenti celesti potrà costringere l'astronomo a complicare gradualmente le sue supposizioni, ma la complessità del sistema al quale egli si sarà fermato non potrà essere motivo per rigettare questo sistema se esso si accorda esattamente con le osservazioni »¹⁹⁹.

La piú probante dimostrazione di quanto Duhem ritenesse il progresso scientifico caratterizzato sostanzialmente da un aumento di complessità si trova nelle considerazioni fatte a proposito del rapporto tra

¹⁹⁶ Duhem, 1913-59, I, p. 129.

¹⁹⁷ *Ibid.*, p. 20.

¹⁹⁸ *Ibid.*, p. 21.

¹⁹⁹ Duhem, 1908, p. 129.

impostazione meccanicista e termodinamica generale: il meccanicismo, proprio perché teoria più limitata, capace di coprire un minor numero di dati osservativi rispetto alla termodinamica generale, è assai più semplice. Il cartesianesimo era dottrina semplicissima, ma questa semplicità era pagata con una ben scarsa capacità di presa sul reale: « Certo la concezione di una tale fisica è di una semplicità ammirevole ma, a forza di semplificare la fisica, a forza di svuotarla di ogni contenuto che non fosse puramente geometrico, Cartesio l'ha ridotta ad un vano fantasma, incapace di rappresentare il mondo dei corpi »²⁰⁰. I successori di Cartesio, e questo è il discorso di fondo tracciato nella *Évolution de la Mécanique*, hanno dovuto abbandonare la primitiva semplicità giungendo a concepire le particelle materiali quali sistemi complicatissimi, non certo caratterizzati dalla sola estensione: « Se essi non desiderano una concordanza approssimata [tra teoria ed esperienza], ma un accordo rigoroso, occorrerà loro concepire gli atomi dipendenti da un numero illimitato di parametri ». Ora, quello che è decisivo sottolineare è la circostanza che per Duhem la termodinamica generale, la « nuova meccanica generalizzata », non ha il diritto a prendere il posto del meccanicismo in quanto elimina la complessità in cui era sfociato il programma di quest'ultimo. Al contrario, proprio perché teoria meglio aderente ai fenomeni, la termodinamica generale, l'energetica, si presenta ancor più complessa delle teorie che vuol sostituire:

La meccanica fondata sulla termodinamica non ha affatto imposto alle proprie ipotesi essenziali la semplicità esagerata che esigeva l'antica meccanica: essa ha tollerato che esse fossero più numerose e più varie, che si esprimessero per formule più complesse. Questa maggior ampiezza lasciata alla scelta dei principi si è mostrata felice e feconda²⁰¹.

Ecco dunque un problema storiografico assai arduo per i sostenitori del « semplicismo duhemiano »: la nuova meccanica, quella cui Duhem ha dedicato tutto il suo lavoro di ricercatore, è più complessa della vecchia meccanica; la « rivoluzione » apportata dalla termodinamica nelle scienze chimico-fisiche procede dal più semplice al più complesso!

Il passaggio costante dal semplice al complesso sul piano della storia non è che il riflesso, per Duhem, di un passaggio analogo che « in pic-

²⁰⁰ Duhem, 1903 a, p. 16.

²⁰¹ *Ibid.*, p. 343.

colo » ogni singolo ricercatore compie costruendo le proprie ipotesi. Nella piú ambiziosa opera scientifica di Duhem, il *Traité d'Énergetique ou de Thermodynamique générale* (1911) così egli lo descrive:

Non ci si propone, in generale, di costruire uno schema matematico che rappresenta, contemporaneamente, tutte le leggi fisiche note alle quali è sottoposto l'insieme dei corpi concreti considerati; un tale schema sarebbe di una complicazione spaventosa. Ci si propone semplicemente di rappresentare con una certa approssimazione qualcuna di queste leggi, astruendo dalle altre. Ciò permette di non far entrare per niente nella definizione di stato di un sistema la rappresentazione di tutte le proprietà fisiche che vi potrebbero figurare. Ci si limita a considerare qualcuna di queste proprietà facendo astrazione dalle altre. Si ottiene così uno schema *semplificato* che rappresenta con una certa approssimazione un certo numero di leggi tra quelle che reggono il nostro insieme concreto. Se, proseguendo, ci si propone sia di rappresentare le stesse leggi con una maggiore approssimazione, sia di rappresentare, inoltre, qualcuna delle leggi da cui inizialmente si era fatta astrazione, si è naturalmente condotti a far uso di un nuovo schema matematico *piú complicato* del precedente; si riprende allora, per formare la nuova definizione di stato del sistema, qualcuna delle proprietà fisiche che si erano trascurate nella prima definizione²⁰².

La nozione di semplicità non sembra dunque svolgere un ruolo di qualche rilevanza nell'immagine duhemiana del procedere della scienza. Si sarebbe anzi tentati di dire che Duhem pare piú propenso a preferire il criterio della complessità: le teorie migliori, nel senso di piú aderenti all'esperienza, sono g e n e r a l m e n t e piú complesse.

Va infine tenuto presente che l'idea di semplicità quale criterio guida fondamentale era sostenuta non solo dallo strumentalismo, ma anche, con funzioni opposte, dall'apologetica tomista, che ne faceva un criterio di scelta di portata metafisica nella convinzione dell'esistenza di un cosmo al fondo delle cose semplice. È in uno dei piú prolifici apologeti, Ortolan, che si può trovare la spiegazione della sconfitta di Tolomeo in termini di semplicità, che la storiografia solitamente considera una prerogativa tipica del convenzionalismo. In *Savants et chrétiens* (1898) questi sosteneva che la teoria di Tolomeo « era assai ingegnosa, bisogna ammetterlo, ma era anche di una imbarazzante complicazione. La natura, ce ne siamo accorti a poco a poco, procede sempre per le vie piú semplici. Tra le varie ipotesi, la migliore, a parità di condizioni, sarà sempre la meno complessa »²⁰³. E nelle conferenze fatte all'Institut Catholique de

²⁰² Duhem, 1911, I, pp. 26-7.

²⁰³ Ortolan, 1898 a, p. 135.

Paris, De Lapparent si sforzava di mostrare come la scienza rivelasse un ordine naturale unitario e semplice²⁰⁴. Anche in un autore come De Freycinet, che pure aveva interessi in primo luogo scientifici, il risvolto apologetico veniva risolto con un appello ad un « piano generale » attingibile dalla conoscenza umana, che procede usando quasi esclusivamente il criterio della semplicità²⁰⁵.

Strumentalisti e apologeti tomisti erano alleati nell'esaltare il ruolo della semplicità nella scienza, ma Duhem si opponeva a entrambi i gruppi: l'impostazione tomista, infatti, che legava strettamente scienza e metafisica, era, come si vedrà meglio al capitolo V, inconciliabile con l'approccio duhemiano così come lo era lo strumentalismo.

Il mito del semplicitismo è una distorsione (neppure caricaturale perché una caricatura rappresenta in qualche modo il suo oggetto), è una ipersemplicificazione della complessa problematica epistemologica duhemiana che non si lascia racchiudere nella enunciazione di questo a quel criterio di scelta. Anzi, e con questo torniamo allo schema della *Théorie*, Duhem si pronuncia espressamente contro l'enfatizzazione di ogni criterio di scelta metastorico:

²⁰⁴ De Lapparent, 1905.

²⁰⁵ De Freycinet, 1896, p. 194. In Francia, del resto, il tema della semplicità inteso quale strumento metodologico fondamentale faceva parte di una tradizione « realista » che trovava la sua più celebre espressione nelle celeberrime parole di Fresnel: « Nella scelta di un sistema si deve tener presente solo la semplicità delle ipotesi; quella dei calcoli non può essere di alcun peso nella valutazione delle probabilità. La natura non è imbarazzata dalle difficoltà analitiche, essa ha evitato solo la complicazione dei mezzi. Essa sembra essersi proposta di fare molto con poco: è questo un principio cui il perfezionamento delle scienze fisiche apporta in continuazione delle prove sempre nuove » (Fresnel, *Mémoire sur la diffraction de la lumière*, in Blanché, 1969, pp. 171-2). Lo stesso tema era però anche già ampiamente presente in una versione « strumentalista » nell'opera di Augustin Cournot. Questi scriveva nel 1851: « Se la legge matematica alla quale occorre ricorrere per legare tra di loro i numeri osservati fosse di una complicazione sempre crescente, essa diverrebbe sempre meno probabile, in assenza di ogni altro indice che la successione di questi numeri non è l'effetto del caso, cioè del concorso di cause indipendenti ... infatti allorché la legge ci stupisce per la sua semplicità, ci ripugna ammettere che valori particolari siano senza legami tra di loro e che il caso abbia dato luogo all'avvicinamento osservato » (Cournot, 1851, I, p. 72). In nessun caso, dunque, il tema della semplicità può essere considerato una grande novità introdotta dal convenzionalismo, come fu ben chiaro agli studiosi dell'epoca. Ad esempio la tesi di una sostanziale identità tra l'epistemologia di Poincaré e quella di Cournot fu sostenuta in Berthelot, 1911, e il debito del convenzionalismo nei confronti di Cournot riconosciuto da Milhaud, 1905.

La logica lascia una libertà pressoché assoluta al fisico che volesse compiere la scelta di una ipotesi, ma questa assenza di ogni guida e di ogni regola non lo disturberebbe perché, nei fatti, il fisico non sceglie l'ipotesi su cui fonderà una teoria; non la sceglie più di quanto il fiore non scelga il grano di polline che lo feconderà²⁰⁶.

Le condizioni che la logica impone di rispettare nella scelta delle ipotesi si riducono a chiedere che la singola ipotesi non sia contraddittoria, che non sia in contraddizione con le altre ipotesi della teoria, che le varie ipotesi, prese nel loro insieme, producano conseguenze deduttive che rappresentino con sufficiente approssimazione l'insieme delle leggi sperimentali. Al di fuori di queste tre condizioni lo scienziato gode della « libertà più completa »²⁰⁷. Ma lo scienziato, in questo modo, lasciato in completa balia di se stesso, non sarà forse incapace di compiere una qualunque scelta? Era questa l'obiezione che alle giovanili enunciazioni di Duhem era stata rivolta da Vicaire, il quale aveva osservato che interpretando i principi della teoria come ipotesi poste liberamente si priva lo scienziato di ogni direttiva nella costruzione della teoria e non si vede come, in questa situazione, egli possa effettivamente procedere²⁰⁸.

Già nel 1893, in *L'Ecole anglaise et les théories physiques*, Duhem aveva rettificato le idee espresse l'anno precedente rispondendo che nella scelta delle ipotesi uno scienziato non è mai guidato dalla sola logica: « La disposizione speciale del suo spirito, le sue facoltà prevalenti, le dottrine diffuse nel suo ambiente, la tradizione dei suoi predecessori, le abitudini prese, l'educazione che ha ricevuto, gli serviranno da guida, e tutte queste influenze si ritroveranno nella forma presa dalla teoria che concepirà »²⁰⁹. Questo pensiero nella *Théorie* si trova ampiamente sviluppato e rappresenta una delle tesi di fondo di tutta l'opera: è il contesto storico in cui si muove ogni scienziato che lo guida nella scelta delle ipotesi, sono i concreti condizionamenti che ogni stadio di sviluppo storicamente determinato del pensiero scientifico esercita sul ricercatore a far scaturire le idee nuove. Queste idee sono il prodotto di tutta l'evoluzione precedente, senza quest'ultima non potrebbero nascere, esse sono « l'ultima fase di un lungo sviluppo ».

²⁰⁶ Duhem, 1906 a, p. 423.

²⁰⁷ *Ibid.*, p. 364.

²⁰⁸ Vicaire, 1893, p. 79.

²⁰⁹ Duhem, 1893 d, p. 377.

La storia ci mostra che nessuna teoria fisica è mai stata creata tutta in un colpo. La formazione di ogni teoria fisica è sempre stata preceduta da una serie di ritocchi che, gradualmente, a partire dai primi informi tentativi, hanno condotto il sistema a stadi piú elaborati; e in ciascuno di questi ritocchi la libera iniziativa del fisico è stata consigliata, sostenuta, guidata, a volte imperiosamente comandata dalle circostanze piú diverse, dalle opinioni degli uomini cosí come dagli insegnamenti dei fatti. Una teoria fisica non è il prodotto di una creazione improvvisa, essa è il risultato lento e progressivo di una evoluzione²¹⁰.

Questo è dunque il senso della tesi apparentemente paradossale « il fisico non sceglie le ipotesi su cui fonderà una teoria, esse germinano in lui senza di lui »²¹¹: che, poiché chiunque contribuisca al progresso della scienza è tanto immerso nel contesto storico a lui contemporaneo da non potere affatto muoversi liberamente, ogni nuova ipotesi potrà essere soltanto una modificazione di ipotesi già enunciate in precedenza. La storia della scienza non può conoscere fratture, ipotesi che si collochino al di fuori dell'orizzonte storicamente determinato in cui nascono. La storia della scienza deve avere uno sviluppo continuo.

Delle origini e dei caratteri del continuismo storico duhemiano ci occuperemo nel capitolo successivo. Per ora interessa valutarlo per i suoi nessi con l'epistemologia.

Da quanto appena detto risulta in primo luogo chiaro che la tesi del continuismo storico è una parte dell'epistemologia duhemiana che con tale tesi risolve il problema della scelta delle ipotesi. Ed è tesi epistemologica che ha un esito relevantissimo: se nel 1892, affidandosi a criteri di scelta « logici », come la semplicità, Duhem non aveva potuto evitare di accogliere una visione strumentalista della scienza, ora, affidando il problema della scelta alla tesi della continuità storica egli può sostenere una concezione realista e conoscitiva:

svolgendo sotto gli occhi [del fisico] la tradizione continua per mezzo della quale la scienza di ogni epoca è nutrita dei sistemi del secolo passato, per mezzo della quale essa è gravida della fisica dell'avvenire; citando [al fisico] le profezie che la teoria ha formulato e che l'esperienza ha realizzato, essa crea e fortifica in lui

²¹⁰ Duhem, 1906 a, p. 365.

²¹¹ *Ibid.*, p. 416.

la convinzione che la teoria fisica non è affatto un sistema puramente artificiale, oggi comodo e domani non piú usabile, che è una classificazione sempre piú naturale, un riflesso sempre piú chiaro della realtà che il metodo sperimentale non riuscirà a contemplare faccia a faccia ²¹².

Certo, la storia della scienza insegna anche, mostrando errori ed esitazioni presenti nell'opera di ogni scienziato, a non concepire le teorie come spiegazioni definitive: « La storia della scienza salvaguarda il fisico dalle folli ambizioni del dogmatismo e dalla disperazione del pirronismo » ²¹³. La *Théorie* si conclude cosí con un appello a non intendere la critica al dogmatismo come un invito allo scetticismo; si conclude, ancora una volta, con un invito ad intendere sí le teorie quali classificazioni, non spiegazioni, ma a credere anche che esse non sono classificazioni puramente artificiali. La continuità della storia della scienza è a questo scopo argomento di decisiva importanza, la via che fa evitare a Duhem l'altra strada, quella della storia fondata e diretta da una serie di scelte compiute in base a criteri soggettivi.

La tesi del continuismo è un'aggiunta esterna all'epistemologia duhemiana, tesi *ad hoc* in cui Duhem si rifugia per non accettare le conclusioni scettiche inesorabilmente implicite nella propria epistemologia? Da un certo punto di vista la tesi della continuità storica è effettivamente esterna all'analisi epistemologica nel senso che la sua fondazione « forte » riposa nella storia della scienza. Nella *Théorie* sono trattati i casi di Newton e di Ampère a sostegno della tesi continuista, ma questi sono solo briciole dell'enorme lavoro d'analisi storica compiuto da Duhem. L'epistemologia duhemiana riversa sulla storiografia il compito e la responsabilità di fondare « positivamente » la tesi del continuismo. Senza storia l'epistemologia risulterebbe monca e parziale. Ma su questa problematica mi soffermerò, come già detto, nel prossimo capitolo.

Il problema che ora interessa è un altro: è solo della storia della scienza che Duhem fa emergere la tesi continuista o, peggio ancora, la storia della scienza offre un'immagine di scientificità che contrasta con le enunciazioni epistemologiche, oppure, al contrario, non solo non vi è contrasto tra epistemologia e tesi continuista ma, addirittura, vi è nella stessa epistemologia duhemiana un insieme di indicazioni che indirizzano di per se stesse verso la tesi continuista, salvo restando il fatto

²¹² *Ibid.*, p. 445.

²¹³ *Ibid.*, p. 444.

che questa ha per Duhem la sua giustificazione « forte » nello studio della storia? Duhem fu veramente un « rivoluzionario non coerente », oppure fu un « conservatore coerente »?

Credo che questa sia semplicemente una riformulazione del problema che già piú volte ci siamo trovati di fronte: se l'enunciazione di un risultato sperimentale o di una legge dipende da un insieme di scelte, allora non solo sembra venire a mancare ogni sicuro fondamento alla conoscenza scientifica, ma è del tutto lecito ammettere scelte che producono rivoluzioni, strappi nel tessuto della storia. Un radicale soggettivismo implica, o almeno ammette senza problema alcuno, una concezione « fratturista » della storia della scienza, come dimostra il caso di Le Roy. L'esatta portata che Duhem attribuisce alla propria critica della base empirica della scienza e dell'induttivismo è il punto di partenza da cui bisogna prendere le mosse per dare una valutazione del continuismo duhemiano.

Come si è visto nelle pagine precedenti, la saldezza di un enunciato sperimentale o di una legge dipende fondamentalmente dalla saldezza di tutto un complesso di teorie, quelle che sono servite e ci hanno guidato nella formulazione matematica dei nostri enunciati. « Il risultato di una esperienza di fisica non ha una certezza dello stesso ordine di un fatto constatato con metodi non scientifici... questa certezza rimane sempre subordinata alla fiducia che ispira tutto un insieme di teorie »²¹⁴. « Il fisico preferirà soprattutto una legge ad un'altra allorquando la prima deriverà dalle teorie che egli ammette »²¹⁵. Rifiutando queste teorie crolla anche la saldezza di quegli enunciati: se avvenisse una rivoluzione in fisica, se, in un dato momento storico, venissero rifiutate teorie sino ad allora ammesse, allora si avrebbe anche il crollo di quei risultati e di quelle leggi sperimentali che su queste teorie si reggevano; le rivoluzioni produrrebbero il relativismo, il discontinuismo in storia avrebbe come diretta conseguenza lo scetticismo in epistemologia, la caduta di ogni stabilità della base osservativa della scienza. Il continuismo garantisce invece in Duhem una stabilità: poiché non si danno rivoluzioni, le teorie che in un dato momento storico la comunità scientifica dà per acquisite, che, con locuzione moderna, costituiscono la « conoscenza di sfondo », e che servono a produrre nuovi risultati sperimentali e nuove

²¹⁴ *Ibid.*, pp. 264-5.

²¹⁵ *Ibid.*, p. 280.

leggi non vengono mai negate, e dunque non dovranno mai essere riviste completamente osservazioni e leggi sperimentali.

Vedremo subito i caratteri che assume in Duhem un simile modo di concepire lo sviluppo della scienza; ora, e questo costituisce una risposta al problema posto, va rilevato che esiste, ed è sempre esistito, nell'epistemologia di Duhem e, prima ancora, nella sua concreta opera di scienziato un criterio metodologico che conduce inevitabilmente al continuismo storico: il criterio di scegliere quel valore numerico, quella legge, quella teoria che meno ci costringano a cambiare nelle teorie già ammesse, maggiormente salvino la conoscenza di fondo. Con questo criterio, che è al contempo descrittivo perché seguito nella generalità dei casi, e quasi normativo perché appare il più ragionevole, la possibilità di scelte fratturiste rimane possibile dal punto di vista logico, ma confinata, appunto, nel limbo della possibilità. Polemizzando con Le Roy, Duhem afferma che di fronte ad esperienze recalcitranti, ad esempio un esperimento di caduta che non convalidi la legge di caduta dei gravi, noi possiamo effettivamente dal punto di vista logico o rigettare la legge o mantenerla complicando i nostri schemi simbolici. « Le Roy afferma che noi facciamo la seconda scelta e non la prima; in questo ha sicuramente ragione. Le cause che ci dettano questo atteggiamento sono facili da scorgere. Facendo la prima scelta saremmo obbligati a distruggere da cima a fondo un vastissimo sistema teorico che rappresenta in modo molto soddisfacente un insieme assai esteso e assai complesso di leggi sperimentali. La seconda scelta, al contrario, non ci fa perdere niente del terreno già conquistato dalla teoria fisica »²¹⁶. È questo criterio del risparmio, questo rispetto per le acquisizioni del passato (che certo anche per Duhem ha conosciuto le sue eccezioni in cui « il pensiero umano è stato condotto a rovesciare da cima a fondo taluni principi »)²¹⁷ che ha dominato tutta l'opera scientifica di Duhem. Lo si è già visto nel capitolo precedente: la vera origine del continuismo storico duhemiano sta nella sua opera scientifica tutta tesa a far progredire la conoscenza scientifica discostandosi il meno possibile dalle conoscenze ereditate dal

²¹⁶ *Ibid.*, pp. 346-7 (spaz. mie).

²¹⁷ *Ibid.*, p. 348.

passato. La riorganizzazione compiuta in gioventú della meccanica chimica era stata condotta avendo come idea direttrice quella di costruire una scienza analoga alla meccanica razionale, e in base a questa idea erano state compiute scelte precise: « Il principio [di Hortsman] presenta un difetto... non mette chiaramente in evidenza l'analogia tra la meccanica chimica e la meccanica razionale »; « vi è analogia assoluta tra le leggi dell'equilibrio stabilite in termodinamica e la statica di un sistema meccanico in cui le forze interne ammettono un potenziale »; « Noi pensiamo che l'ordine seguito in questo paragrafo metta in luce, meglio dei metodi di Gibbs, Maxwell e di Helmholtz, la stretta analogia tra le leggi della termodinamica e le leggi della statica, ed è per questa ragione che l'abbiamo scelto »; « Dare alla meccanica chimica una forma che faccia risaltare questa analogia è lo scopo che si erano proposti coloro che per primi hanno cercato di costituire questa branca della scienza »²¹⁸, e le citazioni potrebbero continuare a lungo.

Anche la battaglia contro la fisica anglosassone può essere vista come un tentativo di opporsi a teorie che troppe lacerazioni venivano a produrre nella fisica ottocentesca. A questo proposito Duhem trova parole melodrammatiche in *L'évolution de la mecanique*:

Figli ingrati, che feriscono il seno da cui hanno succhiato il latte, essi rompono con gioia la tradizione scientifica; a rischio di rovinare le piú sicure conquiste delle nostre conoscenze riguardo l'elettricità e il magnetismo essi preferiscono le inspiegabili conseguenze ai capolavori logici di un Gauss o di un Ampère ... se la meccanica nuova non si opponesse con tutte le forze a questa tendenza, essa cesserebbe di meritarsi il titolo che portava fieramente e legittimamente l'antica meccanica, essa non sarebbe piú la « meccanica razionale »²¹⁹.

Ancora nella sua ultima opera scientifica importante, il *Traité d'énergetique ou de thermodynamique générale* (1911), coronamento di tutta la sua carriera scientifica, Duhem affrontò il problema della scelta delle ipotesi dichiarando apertamente che la guida per tale scelta è fornita dalla conoscenza della scienza precedente:

Dire che i principi dell'energetica sono dei puri postulati e che nessun vincolo logico limita il nostro diritto di sceglierli arbitrariamente non significa per niente dire che noi li formuleremo a caso. Al contrario saremo assai strettamente guidati nella scelta di questi enunciati... Questa guida ci è assicurata dalla

²¹⁸ Duhem, 1893 a, rispettivamente a pp. 105, 111, 115.

²¹⁹ Duhem, 1903 a, p. 337 (spaz. mie).

conoscenza che noi abbiamo del passato della scienza. Sono stati formulati alcuni principi che si sono trovati in grossolana contraddizione con l'esperienza; altri principi sono stati loro sostituiti ed hanno ottenuto una conferma parziale; li si è allora modificati, corretti, assicurando con ogni cambiamento un accordo piú esatto dei loro corollari con i fatti. Noi siamo sicuri che il vestito di cui noi tagliamo le forme si adatterà esattamente al corpo che deve rivestire perché il modello ne è stato piú volte tentato e ritoccato. Ognuno dei principi che noi enunceremo non comporta dunque alcuna dimostrazione logica, ma comporterà una giustificazione storica²²⁰.

L'insieme di conoscenze prodotte dalla storia precedente forniscono una guida « sicura », danno « sicurezza » allo scienziato che le accetta. La storia è la garante delle nostre scelte a patto che le nostre scelte si inseriscano nel flusso della storia, non pretendano di rinnegare il passato. La tesi epistemologica della *Théorie*, libro che è giudicato da Duhem « una sorta di introduzione logica »²²¹ al *Traité d'Energetique*, secondo cui lo scienziato non sceglie, ma è scelto dallo sviluppo storico della scienza, trova qui conferma e precisazioni.

Che la concreta situazione storica sia la principale guida di uno scienziato nella scelta delle ipotesi e che quindi la storia della scienza sia continuista non è una tesi ideologica giustapposta all'epistemologia in chiusura della *Théorie*; è un'idea direttrice che fu sempre presente e svolse una funzione orientativa fondamentale in tutto il lavoro scientifico di Duhem e non contrasta affatto con l'epistemologia, anzi è pienamente coerente con il criterio epistemologico del massimo risparmio, della massima conservazione della scienza già data. Tesi nata sul terreno della pratica scientifica, aveva trovato conferma negli studi di storia della scienza e era giustificata anche dalla riflessione epistemologica.

Se si abbandona l'inconsistente tesi storiografica del semplicismo duhemiano non è piú dato modo di vedere in Duhem un « rivoluzionario non conseguente », occorre invece riconoscere che Duhem come scienziato, come storico e come epistemologo lottò sempre per l'affermazione di una concezione coerentemente conservatrice dello sviluppo scientifico.

²²⁰ Duhem, 1911, I, p. 5.

²²¹ *Ibid.*, p. 4 nota.

Le linee generali di questo sviluppo storico si erano chiarite già dal 1894 con le riflessioni sulla storia dell'ottica e delle teorie del calore. A coloro che, di fronte al continuo succedersi dei vari tentativi differenti di spiegazione meccanicista erano tentati di cedere allo scetticismo, Duhem opponeva la possibilità di rintracciare nella storia « il filo di una tradizione, di un progresso lento ma ininterrotto... nel quale una teoria che scompare non scompare mai tutta intera »; ciò che rimane sono le leggi sperimentali, è la traduzione dell'esperienza in simboli matematici: « Le ipotesi meccaniche sono scomparse... ma la fisica matematica è rimasta »²²².

L'evoluzione della fisica veniva paragonata ad una marea montante, con una immagine poi ripresa alla lettera nella *Théorie*:

Colui che getta un rapido sguardo sulle onde che assaltano una spiaggia non vede la marea salire, vede una cresta sollevarsi, correre, flettersi, coprire una stretta striscia di sabbia, poi ritirarsi lasciando a secco il terreno che sembrava conquistato; una nuova cresta la segue, che qualche volta va un po' più lontano della precedente, qualche volta neppure raggiunge il punto che questa aveva bagnato. Ma sotto questo superficiale movimento di va e vieni si produce un altro movimento, più profondo, più lento, impercettibile per l'osservatore di un momento, movimento progressivo che prosegue sempre nello stesso senso e grazie al quale il mare sale senza soste. Il va e vieni delle creste è l'immagine fedele di quei tentativi di spiegazione che si elevano solo per crollare, che avanzano solo per arretrare; al di sotto si compie il progresso lento e costante della classificazione naturale, il cui flusso conquista senza sosta nuovi territori, e assicura alle teorie fisiche la continuità di una tradizione²²³.

La traduzione matematica dell'esperienza cresce in continuazione sulla base della fisica matematica precedente. Le teorie matematizzate date in un certo momento storico assicurano un saldo basamento che offre quel punto d'appoggio indispensabile per compiere un nuovo balzo in avanti. È vero che ogni affermazione è intrisa di teoria e quindi dal punto di vista logico non è garantita in modo assoluto, ma la storia provvede in ogni momento storico a fornirci un insieme di affermazioni (la conoscenza di sfondo) che in quel momento si può considerare garantito. Grazie a questo insieme di conoscenze siamo in grado di produrre nuove affermazioni, di confrontarle con l'esperienza

²²² Duhem, 1849 a, pp. 123-5.

²²³ Duhem, 1906 a, p. 58.

e, se il confronto riesce, inglobare anche queste nuove affermazioni nella scienza garantita. Per Duhem la distinzione teorico-osservativo non ha più significato assoluto, la pura osservazione non esiste in scienza, eppure mantiene un significato storicamente determinato: nel momento in cui si presenta, nessuna affermazione scientifica può considerarsi osservativa, ma nel corso della storia essa può divenire osservativa man mano che cresce la fiducia nelle teorie che sono implicate nel suo controllo empirico. Ciò che deve esser considerato osservativo o sperimentale, varia da epoca a epoca. Nel corso dei secoli si ha un progressivo allargamento delle leggi che si possono considerare sperimentali. Le leggi di Keplero apparivano altamente astratte ai suoi contemporanei ma, alcuni decenni dopo, servirono a Newton come leggi fenomeniche. Solo in questo senso Duhem continuò a parlare di leggi sperimentali pur sottolineando la presenza di componenti teoriche fortissime in ogni enunciato scientifico. Per il positivismo la distinzione tra teoria ed esperienza, tra teorico ed osservativo era una distinzione assoluta, così come, di riflesso, era altrettanto assoluta la distinzione tra conoscenza ipotetica e conoscenza certa. A queste distinzioni assolute Duhem sostituì distinzioni storiche: nel corso della storia ciò che era teorico diviene osservativo e ciò che era ipotetico diviene garantito. Ecco perché in ogni epoca storica gli scienziati possono far riferimento a leggi sperimentali e a una base osservativa. Duhem intendeva criticare la nozione positivista di esperienza, ma sottolineando gli elementi teorici che un Regnault doveva impiegare nel compiere le proprie esperienze non intendeva certo negare alla produzione scientifica del grande fisico positivista l'attributo di « sperimentale ». In ogni epoca storica è lecito distinguere una fisica teorica e una fisica sperimentale con l'aiuto della conoscenza di sfondo. È vero che « l'enunciato di un risultato sperimentale implica, in generale, un atto di fede in tutto un insieme di teorie »²²⁴, ma è altresì vero che in forza di quell'atto di fede, la cui bontà è garantita dalla storia, è possibile enunciare un risultato che è sperimentale. Così, ad esempio, Duhem può giudicare puramente empiriche ricerche quali quelle compiute da Berthelot in campo termodinamico, che pure impiegavano strumentazioni complesse: « L'opera che Berthelot ha scritto riassume una fase

²²⁴ *Ibid.*, p. 300.

della termochimica sperimentale; questa fase la termochimica la doveva necessariamente attraversare ai suoi inizi, ma non deve attardarvisi; è ormai tempo che essa abbandoni i suoi antichi metodi puramente empirici per la maggior parte, per seguire le vie più sistematiche che le traccia la termodinamica »²²⁵.

9. - TEORIE E BUON SENSO.

La base empirica della scienza in una data epoca storica ha una solidità che dipende dalle teorie elaborate nei secoli precedenti. Se questa situazione si riproducesse identicamente andando a ritroso nel tempo si innescherebbe, con tutta evidenza, una sorta di regresso all'infinito per il quale mai si giungerebbe ad un terreno più saldo delle enunciazioni teoriche. Per Duhem non è così, il processo a ritroso ha un termine. L'esperienza è intrisa di teorie solo in una fase sufficientemente matura della scienza, all'inizio è invece impossibile una osservazione oggettiva, scevra di filtri teorici. L'infanzia delle scienze è caratterizzata da una fase puramente osservativa, osservava Duhem in *Quelques réflexions au sujet de la physique expérimentale*, ove per la prima volta veniva criticata la nozione di esperienza: « Questo metodo [puramente osservativo] conviene alle scienze ancora vicine alla loro origine, come la fisiologia, come certe branche della chimica, ove il ricercatore osserva direttamente i fatti, ove egli ragiona immediatamente sui fatti osservati »²²⁶. In questa fase iniziale, in cui non giocano componenti teoriche, l'osservazione scientifica si trova in contatto con l'osservazione del senso comune. È questo il terreno solido al quale, in ultima analisi, si trova ancorata ogni rete teorica. Attraverso la storia, la conoscenza scientifica procede allontanandosi dal senso comune, ma la storia stessa rappresenta quel solido filo che mantiene comunque i legami tra le teorie più astratte e il mondo dell'esperienza quotidiana. Il *continuum* storico garantisce alle teorie più raffinate un solido ancoraggio a ritroso nel senso comune. In questo senso, ma solo in questo senso, Duhem si opporrà a gran parte della scienza tedesca, in quanto priva di legami con il senso comune.

Ma le connessioni tra le teorie prodotte dal-

²²⁵ Duhem, 1897, p. 29.

²²⁶ Duhem, 1894 b, p. 8.

la scienza in un periodo maturo e il senso comune sono rintracciabili solo nella storia, non sono legami che si possano scoprire con la semplice analisi logica della teoria. Ad una considerazione puramente teoretica le ipotesi assunte quale fundamenta per una teoria matura appaiono prive di collegamento con il senso comune, perché tali le ha rese la storia. Se la storia ha guidato alla scelta dei principi dell'energetica, non è meno vero che questi siano dal punto di vista logico « dei puri postulati e che nessun vincolo logico limita il nostro diritto di sceglierli arbitrariamente »²²⁷. Ma allora lo scienziato oggi deve assumere come guida per le proprie scelte la storia, non può fare appello al senso comune perché ormai le teorie si sono definitivamente allontanate da esso. È un grave errore storiografico sostenere che per Duhem la scelta delle teorie dipende dal senso comune²²⁸, tanto più sorprendente se si considera che nella stessa *Théorie* Duhem dedica alla confutazione di questa tesi un ampio paragrafo dal titolo chiarissimo: « Le ipotesi non possono essere dedotte da assiomi forniti dalla conoscenza comune ». In questo paragrafo si sostiene, appunto, che la fisica, pur partita in stretta connessione con il senso comune, si è via via allontanata da esso e pretendere di fondare le odierne teorie sul senso comune è pretesa del tutto illusoria: « È perciò del tutto illusorio voler prendere gli insegnamenti del senso comune come fondamento delle ipotesi che devono fondare la fisica teorica. Seguendo una simile strada non si arriva alla dinamica di Descartes e Newton, ma alla dinamica di Aristotele »²²⁹. In una delle sue opere storiche più famose, *De l'accélération produite par une force constante* (1904) Duhem si era impegnato a mostrare quali sforzi erano stati necessari per riuscire, nel corso di due millenni, a giungere alla formulazione dei principi della dinamica moderna « prodigiosamente lontani dalla conoscenza volgare »²³⁰. Il pensiero di Duhem a questo riguardo è chiarissimo. L'erronea inter-

²²⁷ Duhem, 1911, I, p. 5.

²²⁸ Redondi scrive: « La scelta delle ipotesi veniva da Duhem infatti fatta dipendere da categorie non formulate per via logica, ma sulla base di un intuizionismo rifacentesi al senso estetico, al carattere di semplicità di una teoria rispetto a un'altra, sotto la giurisdizione del senso comune » (Redondi, 1978, p. 40).

²²⁹ Duhem, 1906 a, p. 435.

²³⁰ *Ibid.*, p. 433.

pretazione che ne viene spesso fatta è dovuta a una gravissima confusione tra «senso comune» (o «conoscenza comune», o anche «conoscenza volgare») e «buon senso». Effettivamente Duhem afferma a più riprese, riprendendo la distinzione pascaliana tra «esprit géométrique» e «esprit de finesse», che le considerazioni di pura logica non sono sufficienti per guidare il fisico nel corso del suo lavoro, che egli deve chiedere aiuto al «buon senso», alla «ragione che non conosce ragioni». Ma «buon senso» e «senso comune» sono due nozioni ben diverse che Duhem si premura di tenere distinte. Il «buon senso» non ha a che vedere con l'esperienza quotidiana, con la conoscenza volgare: esso è proprio degli scienziati, è il senso dello scienziato raffinato, educato dalla conoscenza delle più moderne teorie, creato da lunghi e faticosi anni di studio, «buon senso», quindi, impregnato di teorie, dipendente dalla educazione che il singolo scienziato ha ricevuto.

Le leggi del senso comune sono giudizi che toccano le idee generali, estremamente complesse, che noi formiamo a proposito delle nostre osservazioni quotidiane; le ipotesi della fisica sono delle relazioni tra simboli matematici condotti al più alto grado di semplificazione, è assurdo non riconoscere l'estrema differenza di natura che separa due generi di proposizioni; è assurdo pensare che i secondi si colleghino ai primi come il corollario al teorema²³¹.

Per questo motivo Duhem ritiene che per presentare le teorie moderne, lontane dal senso comune, ad allievi che, necessariamente, sono, in quanto non ancora scienziati, legati al «senso comune» e privi di «buon senso», sia necessario ricorrere alla storia, l'unica in grado di ritrovare quelle connessioni tra pensiero scientifico e vita quotidiana che le moderne teorie sembrano aver smarrito: «il metodo legittimo, sicuro, fecondo, per preparare una mente ad accogliere una ipotesi fisica, è il metodo storico. Rintracciare le trasformazioni per mezzo delle quali il materiale empirico si è accresciuto, mentre la forma teorica si delineava; descrivere la lunga collaborazione attraverso la quale il senso comune e la logica deduttiva hanno analizzato quel materiale e modellato quella forma fino a che l'una si adattasse esattamente all'altro, è il mezzo migliore, anzi il solo mezzo, di dare a coloro che studiano la fisica un'idea esatta e una chiara visione della organizzazione tanto complessa e palpante di questa scienza»²³².

²³¹ *Ibid.*, pp. 436-7.

²³² *Ibid.*, p. 442.

In quanto dipendente dalle teorie, il « buon senso » non è affatto « comune » a tutti gli scienziati (e tantomeno comune a quelli che scienziati non sono) e perciò avvengono discussioni a non finire quando ci si appella ad esso:

Queste ragioni del buon senso non si impongono con lo stesso implacabile rigore delle prescrizioni della logica; esse hanno qualcosa di vago e fluttuante; non si manifestano nello stesso tempo, con la stessa chiarezza, a tutte le menti. Di qui la possibilità di lunghe dispute tra i sostenitori di una vecchia teoria e quelli di una teoria nuova²³³.

La fonte della confusione sovente operata tra « buon senso » e « senso comune » è uno scritto di Duhem, il suo scritto piú infelice, *La science allemande*. Raccolta di conferenze fatte per arringare un gruppo di studenti cattolici che si preparavano a partire per il fronte, questo libretto risente in modo pesantissimo del clima bellico, delle esigenze della retorica e di un infuocato patriottismo. Anche se, come già detto, rispetto ad altri rozzi scritti propagandistici francesi sulla cultura tedesca questo lavoro spicca per ampiezza di argomentazioni e per serietà documentaria, non vi è dubbio che esso risulti non solo debole rispetto alla restante produzione storico-epistemologica duhemiana²³⁴ ma anche, e questo è quello che conta, in palese contraddizione con essa.

Obiettivo di fondo della polemica duhemiana è in *La science allemande* la mentalità eccessivamente astratta degli scienziati tedeschi, tanto catturati dal fascino del rigore e della saldezza deduttiva dei sistemi assiomaticizzati da scordare le ragioni dell'esperienza. Se contro gli inglesi Duhem aveva messo in risalto le ragioni della scienza rigorosa, contro i tedeschi si tratta ora di criticare l'eccesso di rigore, di sottolineare che « il rigore della scienza non è la verità »²³⁵. Per raggiungere questa finalità Duhem scrisse un libro contro gli eccessi dell'astrazione che finì per risolversi in un elogio dello sperimentalismo e dell'induttivismo manifestamente inconciliabile con quanto egli aveva scritto in precedenza.

La battaglia di Duhem contro il positivismo si era caratterizzata per una concezione dei principi teorici quali libere costruzioni, proposizioni

²³³ *Ibid.*, p. 357.

²³⁴ Il fatto che non sia stato brutalmente stroncato da uno studioso come Mieli (Mieli, 1915) è probabilmente dovuto alla circostanza che anche Mieli risentiva del clima di mobilitazione bellica.

²³⁵ Duhem, 1915 b, p. 143.

poste ipoteticamente, non costruibili con procedure induttive, quindi da distinguere nettamente dalle leggi sperimentali. Ora vi è, al contrario, una identificazione tra principi e leggi empiriche: « Nelle scienze [sperimentali] i principi non sono piú chiamati assiomi, li si chiama ipotesi o supposizioni, parole che occorre intendere nel loro senso etimologico che è: fondamenti; li si chiama anche leggi sperimentali, verità d'osservazione »²³⁶. In quanto proposizioni sperimentali i principi si traggono dall'esperienza, non sono piú posti liberamente (con il sussidio della conoscenza storica): « Come si trae dall'esperienza un'ipotesi adatta a giocare il ruolo di principio in una scienza d'osservazione? »²³⁷. In polemica con i positivisti Duhem aveva rivendicato la scientificità di concetti privi di interpretazione empirica diretta e aveva sostenuto che non tutta una teoria scientifica, ma solo alcune conseguenze dei suoi principi, possono essere messe a confronto con l'esperienza. In contrasto con questo, ora egli afferma che tutti i concetti, anche quelli che compaiono nelle proposizioni piú astratte, sono di natura empirica: « Le ipotesi prime non portano solo su idee chiaramente concepite, ma su nozioni che si contano e si misurano, su delle grandezze »²³⁸. Mentre nella *Théorie* Duhem aveva polemizzato con Claude Bernard sostenendo che in fisica il metodo sperimentale è assai piú complesso che non in biologia, in quanto un ruolo centrale hanno le teorie, e proprio in opposizione a Bernard aveva sviluppato la propria celebre critica agli esperimenti cruciali, ora il modello epistemologico che viene additato è proprio Bernard, insieme con Pasteur, un altro biologo!²³⁹.

Di questo quadro epistemologico nuovo che presiede alle considerazioni sviluppate in *La science allemande*, quadro che appiattisce la complessa epistemologia duhemiana avvicinandola a quella dello sperimentalismo positivista, occorre tener conto nel valutare le affermazioni che in questo testo si ritrovano a proposito del buon senso e del senso comune. Allorquando la natura sostanzialmente teorica, quindi astratta, della scienza viene offuscata, è inevitabile che si veda diminuire la distanza che separa le affermazioni della scienza moderna dal senso comune

²³⁶ *Ibid.*, p. 25 (spaz. mic).

²³⁷ *Ibid.*, p. 26 (spaz. mic).

²³⁸ *Ibid.*, p. 33.

²³⁹ *Ibid.*, pp. 26-7.

e che questo prolunghi la sua ombra sino a sfiorare i principi delle teorie. Non si possono prendere le considerazioni di Duhem sul senso comune de *La science allemande* insieme con l'epistemologia della *Théorie*, perché l'epistemologia della prima è radicalmente diversa da quella della seconda. *La science allemande* era probabilmente destinata a essere una infelice parentesi nel percorso duhemiano. La prematura morte di Duhem ne fece purtroppo l'infelice conclusione della sua opera, ma questo non deve far dimenticare quanto egli aveva scritto in precedenza.

Ma a questa prima considerazione, che già di per se stessa diminuisce di molto, a mio avviso, il valore che si può attribuire a molte citazioni che da quel libro si possono trarre, occorre aggiungerne una seconda. Essa è più banale della precedente, ma forse coglie ancor meglio la ragione di tanti fraintendimenti. Il *La science allemande* Duhem opera uno *s l i t t a m e n t o t e r m i n o l o g i c o*: ciò che in precedenza era chiamato « buon senso » qui è detto « *esprit de finesse* » e la locuzione « buon senso » è usata *i n d i f f e r e n t e m e n t e* in luogo di « senso comune ». All'inizio del libro « buon senso » viene impiegato in linea con quanto detto nella *Théorie*, poi esso viene equiparato allo « *esprit de finesse* »: « Questo è un compito [quello di imparare dalle smentite sperimentali] delicato, ove nessuna regola precisa guida la mente, che è essenzialmente questione di penetrazione e di ingegnosità. Veramente, per assolverlo bene, occorre che il buon senso si superi, che spinga la sua forza e la sua elasticità fino ai loro estremi limiti, che diventi quello che Pascal chiama ' *esprit de finesse* ' »²⁴⁰. Da questo punto in poi viene preferibilmente impiegato « *esprit de finesse* » per indicare quello che nella *Théorie* era chiamato « buon senso » e « buon senso » finisce per diventare sinonimo di « senso comune ». Così, ad esempio, si dice: « Perché la scienza sia vera non è sufficiente che essa sia rigorosa, occorre che parta dal buon senso per arrivare al buon senso »²⁴¹. Ma si dice anche: « [*esprit de finesse*] estrae dal senso comune i principi da cui la scienza dedurrà le proprie conclusioni, ... riprende tra queste conclusioni tutto ciò che può accrescere e perfezionare il senso comune »²⁴². Queste ambiguità terminologiche hanno indotto molti critici a ritenere che in Duhem « buon senso » e « senso comune » siano termini equivalenti, misconoscendo quella chiara distinzione che era presente nella *Théorie*. La con-

²⁴⁰ *Ibid.*, p. 29.

²⁴¹ *Ibid.*, p. 143.

²⁴² *Ibid.*, p. 124.

fusione è spinta da Duhem ancor piú oltre: non solo « buon senso » è impiegato in luogo di « senso comune », ma a volte accade anche il contrario e al « senso comune » sono attribuite le funzioni di ciò che nella *Théorie* era il « buon senso ». Se non si tien conto di questi continui slittamenti di significato dei termini presenti in *La science allémande* e si impiegano citazioni senza le dovute precauzioni si finisce inevitabilmente per ricavare da questo testo una ben strana immagine di Duhem²⁴³.

La categoria del « buon senso » in Duhem non è altro che la riformulazione in termini soggettivi dell'altra sua affermazione a proposito del succedersi delle teorie: è la storia, sono le ragioni storiche, non la pura logica che dirigono le scelte degli scienziati. Nel buon senso Duhem comprende tutto ciò che (a livello soggettivo) è effettivamente determinante nel procedere della scienza, e quindi è presente in coloro che questa storia la fanno, cioè gli scienziati, non altri, ma che non rientra nel rigore del ragionamento logico.

Questo uso duhemiano della categoria del buon senso, inteso come quel complesso di facoltà raziocinanti, distinte dalla pura ragione logica, grazie alle quali ogni scienziato, calato nel contesto storico, soppesa, valuta, giudica e sceglie le ipotesi teoriche e senza le quali facoltà « non rigorose » egli risulterebbe paralizzato, ha indubbiamente un posto di primo piano nell'impalcatura metodologica di Duhem. Al buon senso e alla sua versione in termini oggettivi, il contesto storico, è affidata la soluzione del problema della scelta delle ipotesi che la logica da sola non può risolvere e che i criteri pragmatisti risolvono in modo per Duhem inaccettabile. Con questo approccio, radicalmente diverso da quello impiegato nel 1892, Duhem intende risolvere la questione che era stata all'origine della *Théorie*: come, pur salvando i risultati della piú acuta critica logica, è possibile non cadere nello strumentalismo?

Affidare le scelte al buon senso dello scienziato non significa altro,

²⁴³ Citazioni « strane » dal punto di vista della restante produzione duhemiana abbondano nel testo. A quelle già fatte si aggiunga quest'altra: mentre Duhem aveva impostato tutta la propria critica al positivismo partendo dalla distinzione tra « fatto pratico », brutalmente constatato, dominio del senso comune, e « fatto scientifico » costruito in forza di teorie, ora a proposito dei fatti significativi per la scienza sorprendentemente egli afferma che « è il senso comune che regna maestro nel dominio dei fatti » (*Ibid.*, p. 124).

per Duhem, che sottolineare l'impotenza della critica epistemologica, *da sola*, a spiegare la natura dell'impresa scientifica. Il rigore logico non esaurisce la complessità della storia: lo scienziato non costruisce e non giudica teorie scientifiche sospeso in un limbo di tersa e trasparente esattezza matematica, ma nel contesto molteplice e tumultuoso della storia ove la pura ragion logica non è sufficiente. La sola analisi logica della natura del metodo scientifico conduce a conclusioni scettiche, proprio in quanto rivela, con la sua critica impietosa, la paralisi cui si troverebbe costretto lo scienziato se si limitasse a operare secondo canoni rigorosi, che non consentono, *da soli*, né di verificare né di falsificare, né di scegliere teorie in maniera conclusiva. L'indagine sulla storia, mostrando che di fatto, guidati *anche* dal buon senso (non rigoroso), gli scienziati producono una scienza che cresce con continuità, rovescia la tentazione scettica e conduce a credere in una scienza che non è classificazione arbitraria, ma « classificazione naturale ».

Il buon senso è la categoria che serve (a livello soggettivo) a passare dall'epistemologia alla storia, dallo scetticismo ad una concezione realista e conoscitiva della scienza, serve a sottolineare i limiti del rigore e ad evidenziare la complessità della storia che proprio da tali limiti è creata: se fosse possibile l'esperimento cruciale, se esistessero i « fatti » scervi di ipotesi tanto cari ai positivisti, la storia della scienza sarebbe piana e lineare, le discussioni tra gli scienziati risolvibili in modo rapido e decisivo. Non mi pare che la categoria del buon senso, l'idea che il puro rigore da solo non sia sufficiente a fare scienza, possa essere considerata, alla luce di quanto appena detto, « un elemento del tutto estraneo alla problematica scientifica »²⁴⁴. Ciò è confermato dalla circostanza che questa categoria non era affatto una creazione personale di Duhem, compiuta per accordare la propria epistemologia con la propria ideologia, ma era ampiamente discussa e accolta in termini assai simili a quelli duhemiani da molti scienziati francesi del periodo, che pure partivano da posizioni ideologiche e scientifiche assai dissimili. Ad esempio nel 1906 Jules Tannery individuava la differenza tra matematica e fisica proprio nella presenza ineliminabile del « buon senso » nella seconda: « [Il fisico] acquisisce dai fenomeni che studia una abitudine che gioca un ruolo

²⁴⁴ Redondi, 1978 a, p. 40.

analogo a quello del buon senso nella condotta della vita: il buon senso non ha posto in matematica ». Nelle sue dimostrazioni vi è solitamente « un miscuglio di deduzioni matematiche e di induzioni tratte da questo prezioso buon senso che egli ha acquisito e che divide con coloro che hanno le sue stesse abitudini: per i suoi colleghi di buon senso la sua dimostrazione è convincente ». Le esigenze del rigore privo di buon senso non conducono a nulla; è il fisico ad avere ragione e a far progredire la scienza. « Il pedante esige che una scienza sia fatta quando essa si sta facendo »²⁴⁵. E Marcel Brillouin, avversario sul piano scientifico di Duhem, lottava per far accogliere la teoria cinetica dei gas in Francia invitando ad andare al di là della semplice considerazione rigorosa nel giudizio dell'opera di Boltzmann: « Per quanto imperfetto possa essere lo sviluppo matematico, per quanto dubbiose possano apparire certe dimostrazioni, per quanto contestabili appaiono certi risultati, la teoria merita una attenzione e uno studio approfondito... perché se il rigore solo è definitivo, non è il solo interessante »²⁴⁶.

E, si potrebbe aggiungere, il modo in cui Duhem intende ed usa la nozione di « buon senso » non ha forse molti punti di contatto con il risultato finale cui è approdata una delle concezioni epistemologiche più importanti dei nostri giorni, quella di Imre Lakatos? Quando questi infatti afferma la « fine della razionalità istantanea » nella storia della scienza, cioè la fine dell'illusione di poter compiere scelte definitive garantite da criteri di scelta vincolanti per l'intera comunità scientifica, quando ammette che « è molto difficile sconfiggere un programma di ricerca promosso da scienziati dotati di talento e immaginazione »²⁴⁷, non dice forse qualcosa di molto simile all'affermazione di Duhem secondo cui nella storia reale le scelte non sono dettate dalla pura logica, ma richiedono l'intervento di una « ragione che non conosce ragioni » cioè del « buon senso »?

La *Théorie* ha un duplice scopo: mostrare i limiti dell'empirismo e dell'induttivismo ingenui dei positivisti grazie all'uso del rigore, mostrare i limiti del rigore con l'uso della storia e recuperare così una con-

²⁴⁵ Tannery, 1912, pp. 62-4.

²⁴⁶ Brillouin, 1902, pp. VI-VII.

²⁴⁷ Lakatos, 1976 a, p. 235. Proprio su questo aspetto si è incentrata la critica di Feyerabend che ha evidenziato come in realtà gli *standard* metodologici di Lakatos non siano « normativi » (Feyerabend, 1979, p. 148 e ss.).

cezione conoscitiva di scienza, contro la marea montante dello strumentalismo. Tra Scilla - Regnault e Cariddi - Le Roy, Duhem può navigare senza naufragi solo legando indissolubilmente l'epistemologia alla storia della scienza: è a questa in definitiva che viene rinviata la soluzione del problema epistemologico fondamentale, quello della scelta delle ipotesi, dopo che la pura indagine epistemologica aveva dimostrato la propria incapacità a risolverlo, o meglio incapacità a risolverlo senza affidarsi a criteri soggettivi quali quello della semplicità. È l'appello alla storia che permette a Duhem di concludere la *Théorie* con l'ennesima riaffermazione della propria convinzione realista e conoscitiva di scienza: « [La storia della scienza] esponendo davanti [allo scienziato] la tradizione continua attraverso cui la scienza di ogni epoca è nutrita dai sistemi dei secoli passati, attraverso cui è gravida di conseguenze per la fisica del futuro, menzionando le predizioni che la teoria ha formulato e l'esperienza realizzato, crea e fortifica in lui la convinzione che la teoria fisica non è un mero sistema artificiale, utile oggi e inutile domani, ma che essa è una sempre più naturale classificazione e un sempre più chiaro riflesso di realtà che il metodo sperimentale non può contemplare direttamente »²⁴⁸.

²⁴⁸ Duhem, 1906 a, p. 445.

CAPITOLO QUARTO
LA STORIA DELLA SCIENZA

I. - STORIA DELLA SCIENZA E FILOSOFIA DELLA SCIENZA IN FRANCIA.

L'analisi della epistemologia duhemiana ci ha condotto a piú riprese alla scoperta di interconnessioni profonde ed ineliminabili tra « analisi logica » della scienza e analisi storica. L'epistemologia senza la storia conduce inevitabilmente per Duhem ad una visione distorta dell'impresa scientifica; solo la storia ci preserva dai pericoli del dogmatismo, mostrandoci la non assolutezza di tutte le teorie scientifiche, e da quelli dello scetticismo, rivelandoci uno sviluppo continuo verso una classificazione dei fenomeni sempre piú « naturale ». Solo lo studio concreto della scienza nella sua dinamica storica ci può dare una adeguata visione della natura dell'impresa scientifica.

La necessità di studiare la storia della scienza per individuare correttamente la filosofia della scienza era un tema di schietta derivazione comtiana. Comte aveva sostenuto che nell'epoca odierna la conoscenza scientifica rappresenta l'unica forma di conoscenza valida e che pertanto non può essere discusso il problema filosofico del significato e dei limiti della conoscenza se non riferendoci alle scienze, attraverso una puntigliosa analisi dei loro metodi, dei loro linguaggi, dei loro risultati, delle loro giustificazioni. Poiché però per Comte le scienze non sono un fatto individuale ma pubblico, sono il prodotto della evoluzione della società umana, risulta indispensabile analizzarle anche sotto questo aspetto, individuandone la storia e considerando la fase attuale come un punto d'ap-prodo delle precedenti ¹.

¹ Sulla storia della scienza in Comte cfr. Tannery, 1905; Sarton, 1952; Canguilhem, 1964. Sulla storia della scienza in Francia cfr. Berthier, 1919, peraltro assai insufficiente, e Gusdorf, 1966.

La storia della scienza veniva così in Comte ad intrecciarsi indissolubilmente alla filosofia, risultando il supporto delle soluzioni date al « problema della conoscenza ». È ben noto che gli studi di storia della scienza compiuti effettivamente da Comte non furono né ampi né profondi e che le leggi storiche da lui elaborate furono manifestamente aprioriche. Ciò non toglie che la sua impostazione rappresentò un importantissimo punto di riferimento per la cultura a lui successiva e l'interesse storico per le scienze ricco di una problematica filosofica fu una delle più importanti eredità del pensiero comtiano.

Comte tentò anche a più riprese, nel 1832, poi negli anni 1846-47 e ancora nel 1848, di convincere le autorità governative ad istituire una cattedra di « Histoire des sciences positives », ma senza riuscirci. Solo sotto la terza repubblica la storia della scienza si configurò come una disciplina autonoma, « professionale », fino a sfociare nell'istituzione di una cattedra di « Histoire générale des sciences » presso il Collège de France nel 1892².

Negli anni del secondo impero, invece, gli studi storici francesi in campo scientifico conobbero un notevole abbassamento di livello rispetto alla precedente tradizione che, pur muovendosi su una linea prevalentemente erudita o con intenti didattici, aveva prodotto dei notevolissimi, fondamentali lavori con Montucla, Bailly, Laplace, Bossut, Delambre, per non parlare di Cuvier, la cui *Histoire des sciences naturelles* era stata scritta da altre mani, o della *Histoire des sciences mathématiques en Italie* del Libri, che era opera largamente « italiana »³.

Dopo Comte nel campo della storia dell'astronomia, della chimica e della fisica (diverso fu il caso della storia della medicina e della storia della matematica in cui vi furono grandi storici come Daremberg o Chasles⁴) non fu prodotto nulla di paragonabile a quelle opere e neppure nulla del livello della migliore storiografia tedesca ottocentesca. Gli storici rappresentativi del positivismo francese in quei settori nei primi decenni successivi al 1850 furono personaggi come Chevreul, Hofer o Marie⁵, prolifici dilettanti, privi di strumenti specialistici e anche privi delle capacità di tradurre in pratica la direttiva comtiana di superare la

² Su questa vicenda cfr. Paul, 1976.

³ Montucla, 1758; Bailly, 1775 e 1779-82; Laplace, 1823; Bossut, 1802; Delambre, 1817 e 1821; Cuvier, 1841; Libri, 1838-41.

⁴ Cfr. Daremberg, 1870; Chasles, 1870.

⁵ Chevreul, 1866 a e 1866 b, 1870; Hofer, 1872; Marie, 1883-1888.

storia erudita in direzione di un impegno filosofico. Curiosamente il libro di storia della scienza scritto con maggiori intenti filosofici fu quello di uno studioso che si batteva per imporre una teoria avversata dai positivisti perché troppo ipotetica, l'atomismo, cioè Adolphe Wurtz, che nel 1868 pubblicò *Histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours*. Quest'opera, che pure si fondava quasi interamente sulla grande *Geschichte der Chemie* di Kopp e ad essa non aggiungeva nulla dal punto di vista storiografico, aveva un intento non meramente erudito, intendeva essere uno strumento di lotta teorica in favore, appunto, dell'atomismo. Ciò la rendeva assai più penetrante e stimolante dal punto di vista metodologico della contemporanea storia della chimica di stretta osservanza positivista, la *Introduction à l'histoire des connaissances chimiques* di Chevreul (1866).

Solo negli anni '80 la storia della scienza francese raggiunse nuovamente livelli elevatissimi grazie all'opera di Berthelot e Paul Tannery, cui più tardi si aggiunse Milhaud. Particolarmente evidente è l'impegno filosofico dei lavori di Tannery: la sua prima opera importante, *Pour l'histoire de la science hellène* (1887), tenta di dimostrare come il pensiero dei primi filosofi greci vada collegato più alle loro dottrine cosmologiche che alla metafisica, e tutte le sue opere successive cercarono sempre, rifiutando una concezione apriorica delle procedure conoscitive della scienza, di giungere ad una storia capace di comprendere il procedere della scienza in tutta la sua molteplice complessità, ivi compresi gli errori e gli scontri teorici. « L'errore è il cammino dell'ignoranza verso la verità; l'ipotesi, nella misura in cui può essere verificata, è il mezzo di acquistare la certezza. La storia delle origini delle scienze deve, prima di tutto, occuparsi di questi errori, scrutare le ipotesi dei primi tempi; essa deve distinguere in che cosa le une hanno servito al progresso e in che cosa gli altri l'hanno rallentato ». Con questo metodo si arriva a « riconoscere un'unità singolare e un legame del tutto naturale tra le dottrine che si è soliti considerare, dal punto di vista filosofico, discordanti e contraddittorie »⁶.

Berthelot diede contributi documentari assolutamente fondamentali

⁶ Cit. in Duhem, 1905 a, pp. 4-5. I lavori di Paul Tannery sono stati raccolti in Tannery, 1876-1950. Per le sue idee generali sulla storia della scienza sono particolarmente rilevanti Tannery, 1906 e 1907. Su Paul Tannery cfr. il numero speciale a lui dedicato nel vol. 7 (1954) della « Revue d'histoire des sciences et de leurs applications »; Courmet, 1981.

alla storia della chimica antica e medioevale⁷, ma l'impegno filosofico della sua storia è assai meno marcato ed evidente rispetto a quello di Tannery. Tuttavia la sua storia, apparentemente solo erudita, ha in realtà un obiettivo filosofico preciso: mostrare la natura del vero metodo scientifico che, in linea con i dettami positivisti, è il metodo sperimentale. A questo fine la storia della chimica è particolarmente interessante perché « è per questa via soprattutto che è stato introdotto il metodo sperimentale »⁸. E il modo in cui, a parere di Berthelot, questo metodo è stato introdotto è particolarmente significativo e rivelatore dell'obiettivo filosofico di fondo della sua opera storiografica: per quindici secoli i chimici hanno prodotto solo dati sperimentali, compiuto esperienze che sono servite da base alla successiva edificazione teorica, mentre le idee che guidavano tali sperimentazioni erano completamente erranee. Tutta la storia dell'alchimia è una storia di idee errate e di esperienze feconde. La storia della chimica illustra la vera natura del metodo sperimentale, che Berthelot aveva sostenuto nei suoi scritti epistemologici e scientifici: le teorie vengono *dopo* la sperimentazione.

In chimica le teorie erano così profondamente nascoste che sono occorsi più di quindici secoli per scoprirne le vere fondamenta, e gli antichi chimici, cioè gli alchimisti, non hanno avuto per guida che un miscuglio confuso di vedute basate sull'analogia, miste a delle vaghe immagini e a delle speranze chimeriche. Tuttavia sono riusciti a costruire poco a poco i dati solidi della loro scienza, con l'aiuto di lunghe serie di esperienze, compiute con sistematicità⁹.

L'impegno filosofico di cui veniva investita la storia della scienza negli anni della terza repubblica risultò particolarmente evidente dalle vicende della cattedra di *histoire générale des sciences* creata dal Collège de France nel 1892. Questa cattedra fu istituita quale pulpito da cui bandire la filosofia scienziata, base ideologica degli uomini della terza repubblica. Léon Bourgeois, ministro dell'educazione, la presentò come il vertice di tutto il sistema educativo francese:

Non vi è insegnamento superiore degno di questo nome se non ha al vertice una filosofia scientifica: occorre una vetta dall'alto della quale si possa dominare l'insieme delle conoscenze e farne la veritiera generalizzazione; io penso, di conseguenza, che questa cattedra che deve dare l'insegnamento generale e creare questa

⁷ Berthelot, 1885 e 1893.

⁸ Berthelot, 1893, p. I.

⁹ *Ibid.*, p. III.

filosofia della scienza tutta intera, è indispensabile ad un grande paese come il nostro ¹⁰.

Coerentemente con questa impostazione, la cattedra venne assegnata non ad uno storico della scienza, ma a quello che era considerato il « papa » del positivismo, Pierre Lafitte, da vari anni impegnato nella diffusione di una ormai superata storia della civilizzazione dal punto di vista della scienza, che tentava di applicare gli schemi astratti comtiani allo sviluppo concreto della storia. I giornali cattolici protestarono vivamente per questa misura che poneva al vertice dell'educazione francese « le assurdità religiose di Comte e il suo sistema etico immorale » ¹¹.

Ancor piú significativa del clima affatto disimpegnato filosoficamente che circondava gli studi di storia della scienza in Francia è la vicenda della successione a Lafitte quando questi morì. Nel 1903 i professori del Collège compirono la scelta quasi inevitabile, designando lo storico francese della scienza di gran lunga piú valido e prestigioso, Paul Tannery. La scelta fu sconfessata dal governo di Émile Combes, particolarmente impegnato nella lotta anticlericale, che forse vide con sospetto la fede cattolica, peraltro assai discreta, di Tannery. Venne imposto un emigrato russo, Grègoire Wyruboff ¹², che non aveva titoli minimamente paragonabili a quelli di Tannery, ma che era di provata fede positivista e anticlericale. Tale scelta fece discendere il livello delle lezioni tenute presso la cattedra *d'histoire générale des sciences* ad una soglia assai bassa.

In questo clima generale maturarono gli interessi storiografici di Duhem e non vi è da stupirsi se la storia della scienza, anche nel suo pensiero, si configurasse sin dall'inizio come disciplina profondamente legata a problematiche filosofiche ed epistemologiche.

2. - I PRIMI STUDI DI STORIA DELLA SCIENZA DI DUHEM.

Non esiste lavoro di Duhem che non contenga almeno accenni di storia della scienza, se non altro di storia dei decenni appena precedenti. Fin dal 1888 compare, in *Étude historique sur l'aimantation par influence*, un interesse specifico ad affrontare nodi teorici attraverso la considerazione del cammino seguito dagli scienziati. Questa impostazione rimase però decisamente secondaria e subordinata all'approccio teorico fino

¹⁰ Cit. in Paul, 1976, p. 379.

¹¹ Cit. *ibid.*, p. 380.

¹² Su Wyruboff cfr. Jourdy, 1914.

al 1892, anno in cui Duhem incominciò ad impegnarsi su problematiche epistemologiche.

È di quest'anno infatti (anche se sarà pubblicato nel 1893) il primo lavoro di ampio respiro con taglio storiografico, la *Introduction à la mécanique chimique*. La storia della scienza è qui investita in forma esplicita di un compito prevalentemente didattico. Per « sottolineare il legame tra diverse verità che costituiscono una teoria » sono possibili due metodi. L'uno, il metodo che consiste nell'espone l'ordine logico, pur essendo « il più perfetto in sé », esige l'impiego continuo dell'analisi matematica e pertanto rende particolarmente difficile la comprensione da parte dei chimici, non abituati a tale linguaggio. L'altro metodo consiste nell'espone le verità nel loro « ordine di invenzione » e consente non solo una più facile, ma anche una migliore comprensione della teoria: « Si comprende meglio il contenuto di una legge fisica quando si sa per mezzo di quali sforzi essa è stata eretta, quali errori è stato necessario scartare per portarla alla luce »¹³.

L'idea di usare la storia della scienza per organizzare un insieme di verità in modo particolarmente chiaro non era certo nuova. L'« ordine degli inventori » era stato addirittura il concetto cardine della riorganizzazione del sapere contenuta nel programma dell'*Encyclopédie* illuminista. Pure la scienza positivista non aveva prodotto quasi nulla di valido in questa direzione. L'idea diverrà di moda nel giro di pochi anni e molti scienziati francesi importanti come Bouasse, Andrade, Brillouin, Langevin¹⁴ la faranno propria. Tuttavia nel 1892 un'opera quale quella di Duhem si presentava indubbiamente come nuova.

Ed era nuova soprattutto per l'obiettivo che Duhem non dichiara, ma che in realtà è evidentissimo, che conferisce all'opera il suo taglio più caratteristico e la conduce a travalicare l'interesse didattico. Si tratta dell'obiettivo, simile nella forma a quello che si era proposto Wurtz alcuni decenni prima¹⁵, di usare la storia per condurre una battaglia teorica, quella contro Berthelot. Questo è il reale scopo di tutta l'opera: si tratta di dimostrare che gli sviluppi teorici e sperimentali degli ultimi decenni, anzi di tutto il secolo, confluiscono entro il nuovo grande alveo creato per i problemi chimici dalla termodinamica generalizzata di Gibbs.

¹³ Duhem, 1893 a, p. vi.

¹⁴ Bouasse, 1895; Andrade, 1898; Brillouin, 1904; Langevin, 1904.

¹⁵ Wurtz, 1868.

Ciò che emerge con tutta evidenza da questo libro è un *continuisimo metodologico e storico*. Metodologico perché è una scelta di metodo quella compiuta da Duhem di dare alle equazioni generali della meccanica chimica una forma che risulti la più vicina possibile alla forma propria dei principi generali della meccanica razionale. Viene fatto rivivere il sogno del più celebre chimico meccanicista, Berthollet; Duhem ha parole di grande elogio per lo *Essai de statique chimique* di Berthollet: « Questo mirabile libro contiene delle idee così nuove per l'epoca in cui fu scritto che i contemporanei di Berthollet non le compresero. Si è costantemente misconosciuto uno dei più grandi chimici e una delle più belle opere dell'inizio del secolo »¹⁶.

A prima vista possono apparire strani questi giudizi tanto positivi dati da uno dei massimi « critici del meccanicismo » su uno dei massimi « meccanicisti » ottocenteschi. Non lo sono però se si accettano le interpretazioni che ho dato nei capitoli precedenti e del meccanicismo d'inizio secolo e della critica al meccanicismo di Duhem. In Berthollet Duhem non vede un modellista acritico e ostinato, ma colui che ha indicato « la via da seguire nello stabilimento della meccanica chimica »¹⁷. Pur convinto che le azioni molecolari responsabili dei fenomeni chimici « agiscono secondo le leggi della meccanica », Berthollet non ha mai preteso di costruire una meccanica chimica per via deduttiva a partire da modelli trattabili in base alla meccanica razionale, ma ha affidato il compito di individuare le leggi della meccanica chimica all'osservazione, alla sperimentazione. Egli era convinto che queste leggi scoperte con l'esperienza si sarebbero rivelate di una forma analoga a quella dei principi della meccanica razionale. La via indicata da Berthollet, attraverso l'esperienza giungere a formulare leggi analoghe a quelle della meccanica razionale, è stata seguita sino al termine, in modo non sempre cosciente, dai ricercatori che hanno costruito la meccanica chimica:

Dare alla meccanica chimica una forma che faccia risaltare questa analogia, è lo scopo che si erano proposti coloro che per primi hanno cercato di costituire questa branca della scienza ... È questa idea di analogia da stabilire che dà unità ai diversi tentativi fatti per stabilire la meccanica chimica e che, malgrado le divergenze fra le teorie proposte, stabilisce tra di esse una sorta di tradizione¹⁸.

La via indicata da Berthollet è assunta in modo chiaro e consape-

¹⁶ Duhem, 1893 a, pp. 8-9.

¹⁷ *Ibid.*, p. 10.

¹⁸ *Ibid.*, p. 115.

vole da Duhem e impiegata concretamente come principio metodologico direttivo. Tutta la riformulazione dei principi della termodinamica che Duhem, non esitando a ritoccare pesantemente i suoi due grandi maestri ispiratori, Gibbs e Helmholtz, aveva compiuto sin dalla sua tesi *Le potentiel thermodynamique* (1886) ha come obiettivo fondamentale quello di far risaltare sempre meglio l'analogia tra nuova termodinamica e meccanica chimica: « Noi pensiamo che l'ordine seguito in questo paragrafo metta in luce, meglio dei metodi di Gibbs, Maxwell e di Helmholtz, la stretta analogia delle leggi della termodinamica con le leggi della statica, è questa la ragione che ce lo ha fatto adottare »¹⁹.

Questo continuismo a livello metodologico si traduce inevitabilmente in un continuismo storico. La scelta di costruire la nuova teoria discostandosi il meno possibile dalla vecchia, cercando una stretta analogia con questa, scelta fatta in piena coscienza da alcuni, compiuta nei fatti da altri, produce inesorabilmente uno sviluppo storico che non conosce salti. La storia della meccanica chimica non conosce grandi mutamenti, i vari scienziati che ad essa hanno contribuito sono legati in lunga catena, formano una tradizione che è cementata dalla costante ricerca dell'analogia con la vecchia meccanica.

Per il momento questo continuismo è limitato alla meccanica chimica e limitato al periodo successivo all'opera di Newton (il libro non risale oltre), esso non è ancora tesi storiografica generale carica di implicazioni epistemologiche e ideologiche, traspare dalle linee di sviluppo storico tracciate da Duhem più che essere chiaramente enunciato, ma è senza alcun dubbio presente. Basti considerare, per convincersene, affermazioni come la seguente:

È raro che una scoperta di questo genere [principio di spostamento dell'equilibrio chimico con la temperatura] non sia stata almeno intravista molto tempo prima dell'epoca in cui essa è riconosciuta e ammessa dalla maggioranza degli scienziati. In particolare noi troviamo il principio di cui stiamo occupandoci, considerato come un principio generale della teoria del calore, enunciato in modo assai preciso nell'immortale memoria di Lavoisier e di Laplace ... Doveva passare circa un secolo prima che questo principio generale che si estende a tutti i fenomeni prodotti dal calore fosse riscoperto e che fosse riconosciuto che esso getta grande chiarezza sulla meccanica chimica²⁰.

¹⁹ Ivi.

²⁰ *Ibid.*, p. 144-5.

Oppure ancora:

Questa teoria [la meccanica chimica] ci appare come il risultato di una lunga elaborazione, come la sintesi di idee elaborate da un gran numero di persone ... L'antica concezione dell'attrazione molecolare, in cui Newton cercava la spiegazione dei fenomeni chimici, si trova alla base della teoria completa che abbraccia contemporaneamente sia gli stati di vero equilibrio che quelli di falso equilibrio²¹.

Il continuismo nasce dunque in Duhem sul terreno della sua pratica di ricercatore scientifico. Prima che tesi storiografica o ideologica, esso è scelta metodologica che penetra in profondità nell'opera scientifica duhemiana, che dirige in concreto le scelte su soluzioni scientifiche ben determinate²².

²¹ *Ibid.*, pp. 175-7.

²² Già si è visto, a questo riguardo, un esempio nel Capitolo II. Se ne può ora prendere in considerazione un altro, forse ancor più illuminante per la sua specificità.

Si tratta del problema dei « falsi equilibri » (cioè stati che rimangono in equilibrio anche quando la teoria prevede uno spostamento dell'equilibrio), su cui molto aveva lavorato il primo maestro di Duhem, Moutier, e su cui molto lavorerà anche Duhem.

Duhem studia il caso di una massa d'acqua M alla temperatura di 100° sottoposta a pressione atmosferica. Supposto di separare la massa in elementi infinitamente piccoli identici tra di loro e posti a distanza infinita gli uni dagli altri, il potenziale termodinamico della massa polverizzata è dato da $M \cdot \varphi$ ove φ è una quantità che dipende solo dalla temperatura e dalla densità dell'acqua. Il potenziale termodinamico della stessa massa in cui sia ripristinata la continuità avrà un potenziale termodinamico interno della forma $M \cdot \varphi + \psi$, ove ψ dipende non solo dalla densità e dalla temperatura dell'acqua, ma anche dalla disposizione degli elementi, cioè dalla forma della massa M .

La termodinamica classica suppone nullo il valore di ψ , ma nel caso dei falsi equilibri fallisce. Occorre fare delle supposizioni sulla forma di questa funzione, darle forma esplicita.

« Qual è — si chiede Duhem — l'idea che ci servirà da guida nella scelta di queste supposizioni? ».

La risposta che egli dà è inequivocabile: la forma di ψ viene scelta in modo tale da conservare il massimo della analogia con la fisica precedente, facendo appello al meccanicismo più classico, quello della *mécanique physique* di Poisson: « Questa idea direttrice la ricaveremo dalla teoria che, da Newton a Poisson fino a Gauss, ha dominato la fisica matematica, alla teoria dell'attrazione molecolare; è questa teoria, trasformata, che ci condurrà ad enunciare l'ipotesi seguente ». L'ipotesi è che ψ sia somma di termini del tipo $m \cdot m' \cdot f(r)$ con $f(r)$ funzione della distanza fra gli elementi di massa m e m' , con valori insensibili per distanze che vanno al di là del « raggio di attività molecolare ». « Non solo questa ipotesi è concepita ad immagine di quella che Newton e i suoi successori hanno fatto a proposito dell'attrazione molecolare, ma inoltre essa contiene quella come propria conseguenza » (Duhem, 1893 a, p. 169).

Il continuismo, una delle tesi caratterizzanti della storiografia duhemiana, è inseparabile dalla pratica scientifica sempre seguita dal Duhem ricercatore. Mi sembra pertanto completamente erroneo il giudizio di Fichant (condiviso del resto da quasi tutti gli studiosi) secondo cui le direttrici della storiografia duhemiana, in particolare il continuismo, « sono determinate sia da una filosofia spontanea dello scienziato, sia da una filosofia elaborata che egli riprende, piuttosto che dalla sua pratica scientifica effettiva »²³.

Continuismo non significa però sviluppo tranquillo e monotona-mente progressivo. La storia della meccanica chimica è storia drammatica, drammatica nelle difficoltà continuamente risorgenti che l'esperienza crea alla teoria, e drammatica negli scontri tra differenti approcci teorici. Con i suoi lavori epistemologici successivi, con la critica alla nozione positivista d'esperienza, con la critica agli esperimenti cruciali, Duhem chiarirà dal punto di vista metodologico le ragioni per cui di fronte all'esperienza lo scienziato conserva ampia libertà di atteggiamenti teorici, ma già le riflessioni sugli sviluppi della meccanica chimica mettono in evidenza che di fatto quella libertà esiste. È soprattutto libertà di fronte alle apparenti falsificazioni sperimentali di un'ipotesi quella che sembra colpire maggiormente il giovane studioso. Innanzitutto perché di fronte ad un'esperienza che fuoriesce dai quadri teorici accettati, l'atteggiamento corretto è quello « conservatore » di chi tenta di salvare le vecchie teorie fin dove è possibile. Quest'idea, lo si è visto nel capitolo precedente, permarrà inalterata e assumerà grande importanza nelle analisi epistemologiche. Essa è anche il frutto di una chiara affermazione del principale ispiratore di Duhem, Sainte-Claire Deville, che « fedele al vero metodo sperimentale », aveva affermato nel 1860:

Tutte le volte che si scopre un fatto eccezionale, il primo lavoro, io direi quasi il primo dovere imposto all'uomo di scienza, è quello di fare tutti gli sforzi possibili per farlo rientrare nella regola comune per mezzo di una spiegazione che a volte esige più lavoro e riflessione della stessa scoperta. Quando si riesce nell'impresa si prova una vivissima soddisfazione nell'estendere, per così dire, il dominio di una legge, nell'aumentare la semplicità e la generalità di una grande classificazione ...²⁴.

Ma il conservatorismo, la continuità della storia di fronte alle falsificazioni sperimentali erano giustificati da qualcosa di più di un criterio

²³ Fichant, 1971, p. 72.

²⁴ Sainte-Claire Deville, 1860, p. 52.

metodologico che lo scienziato è tenuto a rispettare. Il rifiuto di considerare decisive esperienze falsificanti si mostrava pratica comune negli scontri teorici perché, come mostrava la storia stessa, una reale falsificazione di un'ipotesi avveniva concretamente solo in forza dell'esistenza di un'ipotesi migliore, mentre poco o nulla valeva di per se stessa la semplice presenza di un esperimento falsificante. Questa osservazione assumeva agli occhi di Duhem una tale importanza da venir posta come conclusione dell'intero libro, dopo essere stata affermata a più riprese nel corso di vari capitoli. Così infatti termina la *Introduction*:

È raro che le contraddizioni dell'esperienza siano sufficienti a sbarazzare la scienza da una teoria sbagliata; i partigiani di questa teoria trovano sempre qualche sotterfugio per aggirare, interpretandoli opportunamente, i fatti che li convincono dell'errore; l'amor proprio dell'inventore, l'attaccamento ostinato alle idee ricevute, il rispetto esagerato dell'autorità, condizionano spesso questi procedimenti poco logici; ma bisogna attribuirli soprattutto al bisogno che ha la mente umana di raggruppare bene o male i fenomeni osservati attorno a qualche idea. Allorquando ha costruito un sistema, lo conserva, a dispetto delle smentite che i fatti gli forniscono; fino a che una teoria più completa, raggruppando in un ordine più soddisfacente un maggior numero di dati sperimentali, non viene proposta. Non si può eliminare dalla scienza una idea sbagliata quando ci si accontenta di dimostrarne la falsità; occorre anche creare l'idea giusta che la deve sostituire²⁵.

La riflessione sulla pratica scientifica nel settore di sua competenza pone dunque di fronte a Duhem l'evidente insostenibilità della concezione positivista di un semplice rapporto a due tra teoria ed esperienza, con l'esperienza che ricopre il ruolo del giudice inappellabile. Lo scontro è sempre almeno fra tre contendenti: due teorie rivali e l'esperienza. Le teorie sono falsificate solo da altre teorie. L'esperienza, da sola, non dirige mai univocamente le scelte teoriche degli scienziati.

È chiaro che questa visione della storia della scienza prelude alla critica degli esperimenti cruciali che di lì a poco sarà compiuta da Duhem in sede epistemologica. Altrettanto chiaramente essa presenta una fortissima somiglianza con la tesi centrale del cosiddetto « falsificazionismo metodologico sofisticato » dei nostri giorni, ma su questo ritornerò in sede di conclusione. Quello che è interessante sottolineare è il fatto che questa idea non pare essere poi molto originale neppure nel 1893. L'anno

²⁵ Duhem, 1893 a, pp. 176-7.

precedente, ad esempio, essa era comparsa nientemeno che sugli *Annales de philosophie chrétienne*, organo ufficiale del neotomismo, in un articolo di Sorel, il quale aveva affermato: « Fino a che una teoria alternativa completa non è sorta, le ipotesi non cadono per effetto della semplice refutazione. Così oggi l'atomismo è difeso in maniera penosa dai suoi sostenitori, ma ciononostante rimane in piedi »²⁶.

Pure è per la prima volta in Duhem che questa idea viene posta nel dovuto rilievo con l'effetto di produrre un rilevantissimo spostamento rispetto alla storiografia positivista. Per gli storici positivisti l'esperienza è il motore del progresso storico oppure, nel positivismo raffinato di Paul Tannery, è l'ipotesi, « nella misura in cui può essere verificata »²⁷. Per Duhem il progresso nella storia della scienza passa attraverso la discussione teorica. Per il positivismo la storia della scienza era passaggio progressivo dall'errore alla verità, ed era possibile stabilire una linea di demarcazione netta e precisa tra errore e verità. Con Duhem ciò non è più possibile: la scienza diventa un'impresa essenzialmente umana e le sue conquiste, come tutte le conquiste dell'uomo, divengono il risultato di una battaglia tra gli scienziati, i cui risultati, pertanto, non sono più garantiti da una sicurezza extra-umana, assoluta. Errore e verità divengono due concetti relativi all'uomo, non sono più rivestiti di un significato assoluto. Errore e verità assumono cioè un significato storico.

Proprio perché la verità è il risultato provvisorio di uno scontro tra concezioni contrapposte, nella storia della scienza trovano spazio, hanno una loro funzione propulsiva e feconda anche le teorie errate:

A fianco di coloro che hanno costituito la meccanica chimica attuale, sarebbe ingiusto dimenticare i nomi di quelli che hanno creato teorie oggi abbandonate; i sistemi che loro avevano costruito sono ora distrutti, ma l'edificio attuale è stato costruito in gran parte con le macerie di quelli... Crollando, una teoria che è stata costruita con il sincero desiderio di giungere al vero, non sparisce mai completamente; tra i suoi detriti si trovano sempre dei materiali adatti a entrare nella composizione di qualche altro sistema più perfetto e più duraturo²⁸.

Mentre lavorava alla *Introduction*, nel 1892 Duhem pubblicò un altro lavoro storico, *Notation atomique et hypothèses atomistique*, più breve della *Introduction* ma ugualmente significativo poiché in esso Du-

²⁶ Sorel, 1892, p. 584.

²⁷ Cit. in Duhem, 1905 a, p. 4.

²⁸ Duhem, 1893 a, pp. 175-6.

hem si pone una differente finalità: non si tratta piú né di usare la storia in funzione della didattica, neppure di impiegarla per combattere una battaglia teorica, bensí con la storia sostenere una visione epistemologica. L'articolo si propone infatti di dare una « forma concreta »²⁹ alle idee epistemologiche esposte in quello stesso anno in *Commentaire aux principes de la thermodynamique*. Viene studiato lo sviluppo della chimica ottocentesca per mostrare come sia emersa, dalla lunga discussione tra atomisti e antiatomisti, una concezione della teoria chimica svincolata da ogni ipotesi metafisica sulla struttura reale della materia, in linea con le tesi epistemologiche espresse da Duhem a proposito della termodinamica.

Questo lavoro conferma sul piano della ricognizione storiografica l'inscindibile legame esistente tra studi di chimica duhemiani e sue riflessioni epistemologiche. L'epistemologia nasce in Duhem nel 1892 profondamente intrecciata alla pratica scientifica, come avevo mostrato nel precedente capitolo, e con la storia della scienza. È una epistemologia che non vuole essere metastorica, imporre regole metodologiche esterne alla pratica concreta degli scienziati, ma intende, al contrario, essere il frutto della riflessione su atteggiamenti largamente operanti nella comunità degli scienziati.

Sorgeva però qui una grave difficoltà: è effettivamente vero che la maggioranza degli scienziati ha distinto con chiarezza tra scienza e metafisica e ha negato alle teorie la capacità di cogliere le cause dei fenomeni? In che misura la storia conferma l'epistemologia duhemiana?

Per la chimica, tutta la scuola di Sainte-Claire Deville sta a testimoniare che le cose si sono effettivamente svolte in questo modo; la scuola di Wurtz non era d'accordo, ma questa scuola alla fine è risultata perdente. Che dire per la fisica?

In *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* (1892) Duhem ammette che dal '600 in poi gli scienziati hanno dato grandi contributi scientifici partendo da concezioni esplicative (meccaniciste): Descartes, Newton, Huygens, Laplace, Poisson, Fresnel e Cauchy sono tutti allineati lungo un'unica direttrice metodologica: solo con Lagrange si è cominciato a capire che « l'analisi matematica aveva il suo dominio proprio, i suoi metodi propri, e che essa non doveva né accettare il gergo della metafisica e della teologia, né imporre loro il proprio »³⁰.

²⁹ Duhem, 1892 b, p. 392.

³⁰ Duhem, 1892 a, p. 165.

Duhem sottolinea che la fecondità del periodo che va da Cartesio a Cauchy non dipese dal carattere meccanicista delle teorie. All'inizio, nella sua prima infanzia, una scienza cresce sempre velocemente, così come un bambino apprende moltissimo nei suoi primi anni di vita. « Vi fu semplicemente una coincidenza tra la forma meccanica [delle teorie] da una parte e l'importanza delle scoperte che esse produssero dall'altra »³¹.

Questa osservazione, di per sé manifestamente debole e sostenuta senza alcuna analisi giustificativa, lascia comunque intatto il pericolosissimo baratro creatosi tra epistemologia duhemiana e pratica degli scienziati, sviluppatasi storicamente su una linea alternativa. Il problema era chiaramente grande ed infatti su di esso Duhem tornò più volte nel 1893.

Nell'articolo pubblicato nel gennaio di quell'anno, *Une nouvelle théorie du monde inorganique*, viene affrontata la storia della teoria gravitazionale di Newton con la fondamentale preoccupazione di dimostrare che Newton (in precedenza posto nel grande filone meccanicista) ha distinto il compito della fisica teorica, che è quello di enunciare leggi matematiche, da quello della cosmologia, che va invece alla ricerca delle cause³². La proverbiale prudenza di Newton circa la possibilità di scoprire le cause della attrazione gravitazionale era stata la bandiera del positivismo francese, ma ora Duhem trasforma il « positivismo provvisorio » di Newton in una distinzione di principio tra fisica teorica, cui mai sarà dato di scoprire « cause », e cosmologia. I successori di Newton non si sono però tenuti, riconosce Duhem, alla saggia prudenza del maestro e, soprattutto con la scuola laplaciana, hanno creduto di aver trovato una teoria conforme alla natura delle cose, e quindi esplicativa.

Immediatamente dopo questo articolo venne pubblicato un libro di Paul Mansion: *Sur les principes fondamentaux de la géometrie, de la mécanique, de l'astronomie*. In esso si sottolineava, tra l'altro, con sfoggio di dotte citazioni, come fosse sempre esistita una netta distinzione tra astronomia matematica e astronomia fisica (che ricerca le cause) e come lo stesso Copernico si fosse mantenuto nella sostanza sul terreno dell'astronomia matematica.

Credo che questo libro abbia offerto a Duhem una nuova prospettiva storiografica: la sana e prudente tradizione di Newton poteva essere fatta risalire assai indietro nel tempo, se si privilegiava l'astronomia come modello di teoria fisica; e maggior lustro si

³¹ *Ibid.*, p. 164.

³² Duhem, 1893 b, p. 122.

poteva dare alle tesi epistemologiche espresse l'anno precedente.

La questione era divenuta ancor piú pressante perché il neotomismo, con articoli di Vicaire e Lechalas³³, aveva attaccato duramente quei lavori sostenendo, tra le altre cose, che nessuno storicamente aveva mai proceduto secondo il metodo esposto da Duhem e che la ricerca di effettive spiegazioni era sempre stata il motore della storia della scienza.

Duhem replicò a questo attacco in *Physique et metaphysique* usando ampiamente (e, direi, esclusivamente) il libro di Mansion quale fonte di informazioni storiche e di citazioni. È falso, sostiene Duhem, che i grandi scienziati (e i grandi filosofi) abbiano sempre cercato di spiegare i fenomeni. La storia dell'astronomia dimostra che si è sempre trattato piuttosto di assegnare all'astronomia matematica il compito di « salvare i fenomeni » senza indagare le cause. Aristotele, S. Tommaso, Archimede e Copernico si sono mossi tutti su questa linea. Keplero e Galileo si sono illusi di trovare spiegazioni causali, ma soprattutto Cartesio ha contribuito piú di chiunque altro ad abbattere la barriera tra fisica e metafisica e la sua influenza si è fatta sentire pesantemente nei secoli XVIII e XIX. Newton (e Pascal prima di lui) ha però tenuto ferma la distinzione tra fisica e metafisica e su questa strada si sono mossi anche Laplace e Ampère. L'entusiasmo di aver scoperto in Mansion una tradizione epistemologica a lui consona ben piú antica del previsto, prende evidentemente la mano a Duhem che muta il giudizio su Laplace dato pochi mesi prima e lo pone in quella « sana e prudente tradizione della Scolastica [che] non è mai completamente scomparsa »³⁴.

Dopo pochi mesi il giudizio verrà nuovamente rivisto e Laplace e Ampère ricollocati tra i meccanicisti. In *L'école anglaise et les théories physiques*, sempre del 1893, Duhem scrive:

I geometri francesi che hanno composto le prime teorie della fisica matematica hanno avuto una tendenza costante a considerarle come vere spiegazioni ... Questa tendenza, iniziata da Cartesio, traspare in ogni istante dagli scritti di Laplace e di Poisson, di Fresnel, di Cauchy e di Ampère. A volte, è vero, questi autori hanno quasi paura della loro audacia e, per un momento, essi suppongono che le loro teorie non sono forse che delle rappresentazioni e non delle spiegazioni; ma questo pensiero prudente dopo aver brillato per un istante e fatto intravedere a questi grandi spiriti la vera portata del metodo in uso nelle scienze ... si volatilizza³⁵.

³³ Vicaire, 1893; Lechalas, 1893 a.

³⁴ Duhem, 1893 c, p. 82.

³⁵ Duhem, 1893 d, pp. 358-9.

Nella *Théorie physique* il giudizio, questa volta definitivo, su Laplace e su Ampère muterà di nuovo: essi verranno indicati come i due grandi esempi di scienziati che « si sono tenuti al metodo che aveva così ben definito »³⁶ Newton. Lo stesso Fresnel verrà giudicato come colui che « non assegna come scopo alla teoria la spiegazione metafisica delle apparenze sensibili »³⁷.

Queste oscillanti valutazioni sono un sintomo credo chiarissimo della ristrettezza dell'analisi storica su cui Duhem negli anni 1892-93 ancora poggiava le proprie riflessioni. Solo nella chimica ottocentesca e nelle discipline connesse Duhem si era veramente impegnato in un serio studio storico, per il resto si trattava di letture episodiche o di seconda mano, come risulta dalla pesante utilizzazione del testo di Mansion.

Uno studio piú approfondito della fisica (destinato a sfociare in una nuova soluzione del problema della frattura tra epistemologia di Duhem e pratica degli scienziati) venne compiuto negli anni 1894-95 in connessione con l'approfondimento delle tematiche propriamente epistemologiche. Del 1894 è *Les théories de l'optique* e del 1895 è *Les théories de la chaleur*. Questi due articoli si pongono entrambi una duplice finalità. Da un lato si tratta di combattere una battaglia teorica attraverso la storia (contro la teoria di Maxwell nei suoi sviluppi in ottica e contro la teoria cinetica dei gas), dall'altro lato la storia è chiamata ad illustrare, a dare un corpo, a tesi epistemologiche. Così, ad esempio, come ho già segnalato nel capitolo secondo, dalla storia dell'ottica, e dalle esperienze di Wiener in particolare, scaturisce la celebre critica agli esperimenti cruciali.

In questi lavori trovano conferma alcune tesi storiografiche generali presenti nella *Introduction à la mécanique chimique*, soprattutto l'idea, che adesso riceve una spiegazione anche sul piano epistemologico, che l'inesistenza di esperimenti cruciali rende la storia della scienza un processo in cui le vittorie e le sconfitte delle teorie sono sempre prodotto di una discussione tra gli scienziati lunga e tormentata, che viene alla fine decisa non dai responsi dell'esperienza, ma dalla nascita di nuove teorie:

Una teoria che è formalmente contraddetta da un fatto ben constatato — afferma Duhem in *Les théories de la chaleur* riecheggiando la conclusione della *Intro-*

³⁶ Duhem, 1906 a, p. 75.

³⁷ *Ibid.*, p. 79.

duction à la mécanique — è una teoria che è assurdo difendere; ma la storia della scienza è intessuta di violenze che questo principio ha subito. Il pensiero umano ha un tal bisogno di raggruppare i fatti d'esperienza in una teoria, che rifiuta sempre di abbandonare un sistema contraddetto dall'osservazione, moltiplica gli stratagemmi, i sotterfugi, le pseudo spiegazioni, per stornare o dissimulare l'obiezione, ama di più conservare una teoria che sa falsa piuttosto che essere abbandonato, lasciandola cadere, nel caos dell'empirismo. Se decide di respingere l'ipotesi controversa è solo perché un'altra ipotesi più generale, più comprensiva è giunta a raggruppare in una stessa sintesi i fatti che già si sapevano spiegare e i fatti che fino ad allora erano rimasti inspiegati. Rifiutare un'idea falsa non serve a niente se non si proclama allo stesso tempo l'idea giusta che la deve rimpiazzare³⁸.

In secondo luogo trova qui conferma anche la tesi continuista: « Una teoria che scompare non scompare mai tutta intera ». Scompaiono le ipotesi meccaniche, i modelli, ma rimane la traduzione dell'esperienza in simboli matematici, e l'indagine sulla storia della fisica matematica consente di rintracciare « il filo di una tradizione, di un progresso lento ma ininterrotto »³⁹.

Il continuismo non è però fatto risalire all'indietro di molto: la tradizione della fisica matematica, quindi l'oggetto di interesse per lo storico della scienza, ha inizio nel seicento, non più indietro. La storia della fisica che ha un reale interesse per il fisico inizia alla fine del Rinascimento. L'anno successivo Duhem userà parole durissime per tutta la produzione scientifica della Scolastica, esprimendo con ciò un giudizio corrente che però, di lì a pochissimi anni, Duhem dovrà completamente rivedere e che pertanto vale la pena di citare per esteso:

Su questa base [l'aristotelismo] così semplice, così larga e solida, quale edificio meschino, incoerente, caduco, aveva costruito la scolastica al suo declino lo si sa del resto. Invece di studiare la natura, se ne domandavano i segreti a dei commentari ... invece di cercare di scoprire le leggi che collegano tra loro i diversi fenomeni, ci si accontentava di attribuire ciascuno di loro a una qualità nuova dei corpi, a una virtù specifica, a una forma sostanziale e si pensava così di svelarne la causa ultima; la leggerezza muovente, l'orrore del vuoto, le simpatie e le antipatie di ogni specie formavano un caos di denominazioni bizzarre e di spiegazioni puerili o strampalate, tale era la fisica alla fine del XVI secolo⁴⁰.

L'interesse per la scienza moderna costituiva una grossa novità per la storiografia francese di fine secolo. Tutti i maggiori storici di quel pe-

³⁸ Duhem, 1895 b, p. 393.

³⁹ *Ibid.*, p. 123.

⁴⁰ Duhem, 1896, p. 468.

riodo, infatti, da Tannery a Berthelot a Milhaud, si occupavano esclusivamente dell'antichità o del Medioevo e solo Tannery si stava avviando verso lo studio di Fermat e soprattutto di Cartesio. Pure, nell'affrontare la storia della fisica dal XVII secolo in avanti, Duhem non faceva che uniformarsi al giudizio di Comte, il quale a proposito della fisica aveva affermato: « Questa seconda parte della filosofia naturale ha cominciato a svincolarsi definitivamente dalla metafisica, per assumere un carattere veramente positivo, solo in seguito alle capitali scoperte di Galileo sulla caduta dei gravi »⁴¹.

Dalle analisi storiche sull'ottica e sulla teoria del calore Duhem crede di poter ricavare alcune conclusioni generali sullo sviluppo della fisica del periodo dalla rivoluzione scientifica in poi, che debbono servire a dirigere il lavoro del fisico. La storia degli ultimi tre secoli deve guidare il fisico moderno nel suo lavoro di ricerca. È questo un nuovo compito che viene addossato alla storia della scienza: essa era stata investita da Duhem di una funzione didattica, era stata chiamata al soccorso per combattere scontri teorici e per illustrare concezioni epistemologiche, ora essa diviene anche guida per lo scienziato. Affidandosi alla storia si possono avere criteri per orizzontarsi nel dibattito teorico, compiere scelte tra possibilità alternative. Questi passi si coniugano con le affermazioni fatte nel 1893 che avevano precisato come la scelta delle ipotesi non fosse questione di pura logica ma fosse ampiamente condizionata dal contesto storico, e insieme a queste costituiscono il luogo d'origine della tesi centrale della *Théorie*, ampiamente discussa nel capitolo precedente, secondo la quale « lo scienziato non sceglie, ma viene scelto dalle ipotesi ». Ma se questo è vero, se già nel 1895 Duhem affidava alla storia il problema della scelta delle ipotesi, sia pure in modo ancora ampiamente implicito, si ha un'ulteriore conferma della tesi da me sostenuta secondo cui la soluzione in senso realista fondata su un continuismo storico che Duhem nella *Théorie* diede al problema della scelta delle ipotesi non può essere vista esclusivamente come uno strattagemma dettato da motivazioni di ordine ideologico. Nel 1895, infatti, il continuismo storico non aveva ancora assunto quella rilevanza e quella carica ideologica che assumerà di lì a pochi anni nel pensiero duhemiano; ancora non era stato affermato come tesi generalizzabile a tutta la storia della scienza, perché Duhem si era occupato solo della scienza moderna e soprattutto contem-

⁴¹ Comte, 1974, p. 48.

poranea, ancora non era stato enfatizzato come tesi particolarmente significativa perché, come vedremo tra poco, il continuismo era un aspetto scontato della storia per tutto il pensiero positivista, né era stato collegato ad alcun discorso apologetico. Il continuismo storico era, sarà bene ripeterlo per l'ennesima volta, radicato nella pratica scientifica di Duhem.

Le conclusioni generali sulla storia della fisica moderna da usare come guida per l'azione sono esposte in un articolo del 1896: *L'évolution des théories physiques du XVII^e siècle jusqu'à nos jours*.

Il vero iniziatore della fisica moderna fu Galileo, non Bacone, che non influenzò nessuno. Galileo « con il suo esempio, piú che con i suoi precetti, ricondusse i fisici allo studio della natura; egli mostrò come bisognasse condurre un'esperienza, come bisognasse interpretarne i risultati, al fine di ottenere la legge che collega fra loro i fenomeni fisici di uno stesso gruppo »⁴².

Cartesio impostò la propria fisica sul fondamentale obiettivo di abolire la categoria della qualità. Piú di ogni altro egli distrusse il confine tra fisica e metafisica. Leibniz criticò la fisica puramente quantitativa di Cartesio e il suo programma fu realizzato da Newton costruendo una fisica fondata su tre nozioni: materia, movimento e forza. Egli distinse chiaramente anche la fisica dalla metafisica, ma i cartesiani non capirono questa distinzione e il cartesianesimo, da questo punto di vista, rimase molto influente. La fecondità della fisica di Newton ne assicurò comunque il successo, che toccò l'apice all'inizio del XIX secolo.

L'attacco alla impostazione newtoniana partí dalla teoria ondulatoria della luce e proseguí con la teoria del calore di Carnot. Ma l'evoluzione che si produsse fu un ritorno a Cartesio (cioè l'abolizione delle forze a distanza nella teoria ondulatoria e nella teoria meccanica del calore) piuttosto che un abbandono del meccanicismo.

I tentativi del neocartesianesimo sono rimasti ingegnosi ma sterili « fino al giorno in cui le scoperte di Helmholtz sull'idrodinamica non hanno dato un « impulso energico » alle dottrine meccaniciste. Dai teoremi di Helmholtz sui moti vorticosi « l'immaginazione audace » di W. Thomson ha fatto sorgere una « nuova fisica »⁴³. Gli inglesi « apostoli naturali di questo nuovo cartesianesimo » hanno sviluppato un programma che si è trovato in gravi difficoltà, soprattutto di fronte alla trattazione del calore.

⁴² Duhem, 1896, p. 470.

⁴³ *Ibid.*, pp. 389-91.

Altri « piú audaci »⁴⁴ hanno, con Rankine, ammesso chiaramente di dover reintrodurre, contro il sogno meccanicista di ridurre tutto a materia, movimento e forza, nuove nozioni qualitativamente differenti, ad esempio quella di temperatura. Questa nuova fisica delle qualità, l'energetica, è una meccanica allargata che abbraccia le leggi del movimento inteso nel vasto senso aristotelico di « cambiamento ». « Questa scienza... è veramente la fisica che Aristotele aveva schizzato a grandi linee »⁴⁵.

È lungo la direzione tracciata dall'energetica, direzione che si discosta dalle esigenze dell'immaginazione concreta e si avvicina a quelle della rappresentazione matematica astratta e simbolica, che andrà edificata la nuova fisica, senza cedere alle mode momentanee che possono suggerire un ritorno al passato.

Questo articolo, al di là di certi giudizi storiografici « originali » che meriterebbero di essere tenuti presenti dagli studiosi di storia della scienza ottocentesca in quanto espressi dallo scienziato che, vivendo quelle vicende in prima persona, si sforzò piú di ogni altro di ripercorrere la storia recente, ad esempio il giudizio secondo cui l'eliminazione dell'azione a distanza nell'elettromagnetismo fu la conseguenza, non la causa di una simile eliminazione in altri settori, oppure la completa trascuratezza dell'opera di Fourier negli studi termici, al di là di questo, dicevo, *L'évolution des théories physiques...* presenta due rilevanti novità nel percorso duhemiano.

In primo luogo viene qui con chiarezza per la prima volta enunciata la tesi del « ritorno ad Aristotele » che troverà poi spazio anche in pagine piú mature. Mi occuperò tuttavia di questo problema quando tratterò dei rapporti tra Duhem e la cultura cattolica.

Il secondo aspetto rilevante è la conclusione, fulminante e inaspettata, che non trova riscontro in tutta la produzione precedente: *l'idea di un dio che regge la storia della scienza.*

Si è visto nelle pagine precedenti come Duhem fosse assai oscillante attorno al problema della funzione storica avuta dall'approccio meccanicista. Ora questo problema è risolto appellandosi a una volontà divina che ha guidato, senza che loro ne abbiano avuto la consapevolezza, anche il lavoro dei piú meccanicisti tra gli scienziati. Il lavoro scientifico

⁴⁴ *Ibid.*, p. 494.

⁴⁵ *Ivi.*

di questi ultimi tre secoli non è stato inutile, non è andato perduto; « non che questa opera sia servita sempre a ciò cui il suo autore l'aveva destinata, il ruolo che essa gioca nella scienza di oggi differisce spesso dal ruolo che [il pensiero umano] le attribuiva; essa ha preso il posto che le aveva assegnato in anticipo Colui che tutta regge questa agitazione »⁴⁶.

È qui, per la prima volta, che la storiografia viene collegata, peraltro in modo assai timido, con una sola riga in chiusura, all'apologetica. Siamo nel 1896, siamo dunque ben prima delle grandi opere storiografiche di Duhem, eppure già si affaccia la possibilità di trovare nella storia della scienza una « sesta via » di S. Tommaso, una strada per giungere a dio. Hanno dunque ragione tutti coloro che sostengono la rigida subordinazione della ricerca storica duhemiana, e in particolare il tema del continuismo, a motivazioni di ordine apologetico? Credo di no per vari motivi.

Innanzitutto perché, come si è visto, in quegli anni il tema del continuismo storico, sia pur chiaramente presente, non era affatto enfatizzato (mentre lo era il criterio metodologico della continuità) e quindi non si vede come Duhem avrebbe potuto concepirlo quale grande discorso apologetico per poi farne una presentazione tanto dimessa. E infatti l'idea del dio garante non è ancora collegata da Duhem al continuismo, sebbene dal punto di vista logico la prima idea parrebbe dover essere strettamente connessa alla seconda.

In secondo luogo, e questa è la considerazione più importante da farsi, mi pare che l'analisi fin qui fatta mostri che in Duhem non fu l'idea di un dio-rettore ad imporre il continuismo, ma proprio al contrario, fu il continuismo storico a richiedere quella idea. Lo si è visto: il continuismo era nato in Duhem nel confronto con i problemi della ricerca militante ed era sfociato in una scelta metodologica conservatrice, quella di costruire teorie astratte le meno discoste possibile dalla vecchia meccanica. Ciò aveva posto il problema, sollevato anche da critiche come quella di Vicaire, di riconsiderare e valutare la storia degli ultimi secoli, che non sempre si era svolta in accordo con un approccio simile a quello duhemiano. Come mai una fisica in larga parte metodologicamente sbagliata aveva comunque prodotto tanti successi? Duhem aveva tentato

⁴⁶ *Ibid.*, p. 499.

dapprima di sostenere che meccanicismo e grandi progressi scientifici erano stati solo casuali compagni di strada, non legati da alcun rapporto causa-effetto, poi era passato a cercare di mostrare, con scarsa base documentaria e molte oscillazioni, che la maggioranza dei grandi scienziati in realtà non era stata meccanicista. Nel 1896, dopo piú approfondite analisi storiche, Duhem presenta una storia in cui lo spirito di Cartesio prolunga la sua lunga ombra assai in avanti nel tempo e solo con Rankine ha inizio la sua disfatta. Ma allora come giustificare il progresso continuo di una scienza in larga parte meccanicista? Ecco venire in aiuto l'idea di un dio garante del buon andamento dello sviluppo storico della scienza. L'idea di dio non nasce come presupposto della storia duhemiana, ma come risposta ad un problema al contempo metodologico e storiografico. Non è la funzione apologetica ad imporre un continuismo, è la necessità di spiegare un continuismo che è esistito negli ultimi tre secoli nonostante le errate convinzioni metodologiche dei singoli scienziati a « imporre » in qualche modo dio come concetto esplicativo.

È chiaro che, una volta adottata, questa soluzione era destinata a proiettarsi su tutto il corso della storia. Anzi, questa soluzione apriva, in questo senso, un problema gravissimo: se dio ha retto la storia della scienza negli ultimi tre secoli, che cosa aveva fatto nei secoli precedenti che Duhem, come tutti i suoi contemporanei, relega nel purgatorio del buio medioevo, di nessun interesse scientifico? La domanda non è posta esplicitamente da Duhem, ma è facile intuire, anche se impossibile da provare con riscontri sui testi, che questo interrogativo deve essere stato presente in lui dal 1896 e che i successivi studi sul medioevo non devono essere stati dettati da mera curiosità erudita, ma dall'intento di trovare tracce dell'opera di dio anche nella scienza medioevale. Una volta trovate, il continuismo potrà essere esteso anche al medioevo e divenire tesi storiografica generale di grande rilevanza e con forti tonalità apologetiche. In questo senso le grandi opere storiografiche duhemiane del Novecento avranno una finalità apologetica, il continuismo sarà una tesi da dimostrare ad ogni passo in funzione di un rinvio ad un piano preordinato. Ma questo non significa affatto che il continuismo fosse una tesi ideologica con funzioni apologetiche preconstituite. Il continuismo sorse dalla confluenza di tre direttrici: il lavoro in campo termodinamico, la riflessione epistemologica, lo studio della storia della scienza degli ultimi tre secoli. Il risvolto apologetico del continuismo, l'idea di dio suo garante fu la rispo-

sta che Duhem diede alla domanda « come è possibile il continuismo? ». Priva vennero la ricerca, la metodologia, la storia ad imporre il continuismo, poi l'uso apologetico di questo. In altri termini, Duhem non creò il continuismo per ragioni apologetiche, ma sfruttò il continuismo, nato su altri terreni, in funzione apologetica.

3. - LE GRANDI OPERE STORICHE.

Dal 1903 sulla *Revue des questions scientifiques* cominciarono a comparire degli articoli di Duhem che formarono una lunga serie che si estese fino al 1906 e che, raccolti in due volumi quello stesso anno, costituiscono il primo grande libro di storia della scienza di Duhem, *Les origines de la statique*.

In quello stesso periodo Duhem lavorò alla pubblicazione del primo volume degli *Études sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu* (comparso anch'esso nel 1906). Di questi stessi anni sono anche svariati articoli storici a sé stanti, il più famoso dei quali è *De l'accélération produite par une force constante, note pour servir à l'histoire de la dynamique*, presentato al secondo congresso internazionale di filosofia nel settembre del 1904.

Tutti questi lavori esplorano quel periodo alle soglie del quale gli studi storici di Duhem si erano in precedenza arrestati, cioè i secoli che precedettero la rivoluzione scientifica. Con questi testi Duhem diede avvio alla scoperta del continente sconosciuto, la scienza medioevale, portando alla luce manoscritti scarsamente esplorati che imponevano una radicale revisione del tradizionale giudizio negativo sullo stato della scienza nei « secoli bui ».

Due obiettivi in particolare si pone Duhem: da un lato mostrare che tra scienza antica e Seicento non vi sia stato il vuoto, dall'altro lato far vedere come il pensiero dei grandi scienziati seicenteschi non fosse stata una folgorante creazione, capace di recidere completamente i propri legami con la vecchia cultura, ma si radicesse nei secoli precedenti e portasse con sé ancora molta della cultura antica. Far emergere dalle nebbie personaggi come Giordano Nemorario, o Alberto di Sassonia, mettere in risalto la funzione di ponte tra medioevo e rivoluzione scientifica svolta da pensatori come Leonardo, analizzare quanto ancora di irrisolto, di problematico, di « vecchio » permaneva nella produzione scientifica di un Galileo, questi sono gli assi portanti di un grande lavoro

storiografico che si articolava sempre piú chiaramente attorno ad un tema unificante: la ricerca della continuità storica estesa ben al di là della fase seicentesca. Il continuismo storico diviene effettivamente, in questi lavori, una tesi storiografica generale di grande rilevanza, sia storica, che epistemologica e apologetica.

Secondo la testimonianza della figlia di Duhem, Hélène, quando suo padre si accinse a lavorare alle *Origines de la statique* non prevedeva assolutamente l'estensione che l'opera avrebbe poi effettivamente assunto e le scoperte storiche che andò via via facendo furono altrettante sorprese⁴⁷. Non vi è dubbio che quanto contenuto in molti manoscritti fino ad allora sconosciuti risultasse per Duhem una sorpresa, ma credo che si tratti dello stesso genere di lieta sorpresa che ogni storico prova quando scopre il documento che conferma l'ipotesi sulla quale egli sta lavorando. Scoprire via via vari tasselli che permettevano di comporre un mosaico che offriva un'immagine continuista del corso dello sviluppo storico della scienza significava ~~confermare una nozione che era già presente da vari anni~~ e che l'idea di un dio che regge l'opera degli scienziati, presente sin dal 1896, spingeva a ritenere vera.

Proprio negli anni in cui Duhem si sforzava di decifrare manoscritti di oscuri personaggi, in Francia infuriava lo scontro ideologico sui rapporti tra cultura laica e cultura religiosa, lo scontro epistemologico sul convenzionalismo, la battaglia scientifica su atomismo e teoria degli elettroni.

Si è visto nel capitolo precedente quanto Duhem fosse impegnato sul terreno epistemologico e su quello scientifico e come la storia, e in particolare la tesi continuista, venisse da lui impiegata nella soluzione di problemi decisivi, sia epistemologici che scientifici. Si è visto anche come il laicismo repubblicano considerasse la storia della scienza strettamente legata a battaglie filosofiche e ideologiche. Duhem era stato assai prudente nel trattare delle implicazioni ideologiche delle proprie idee, ma nel 1904 fu coinvolto in prima persona su questo tema dall'attacco che gli rivolse Abel Rey nell'articolo *La philosophie scientifique de M. Duhem* in cui era contenuta l'accusa alla epistemologia duhemiana di essere costruita per imporre una « fisica del credente ». Duhem rispose nel 1905 con il celebre saggio *La physique du croyant*. Il contenuto di questo lavoro sarà esaminato nel prossimo capitolo, per ora esso va te-

⁴⁷ H. P. Duhem, 1936, pp. 189-90.

nuto presente solo in quanto testimonia quanto Duhem fosse, mentre componeva i suoi libri storici, fortemente impegnato anche nella battaglia ideologica.

Stante questa situazione, dunque, mi pare del tutto evidente che gli studi di storia della scienza che Duhem veniva compiendo fossero guidati da precisi interessi epistemologici e ideologici, che si coagulavano intorno alla tesi del continuismo. I libri di storia antica e medioevale di Duhem, come tutti i suoi scritti del resto, sotto l'apparente patina documentaria, sono in realtà libri di battaglia. Trattando il piú oscuro commentatore di Aristotele, Duhem ha sempre in mente le battaglie epistemologiche, scientifiche e ideologiche che lo impegnano assiduamente in un frenetico lavoro e fa di ogni documento un'arma da usare in quelle battaglie.

E tutte quelle battaglie, sul piano storiografico, si organizzano attorno al tema del continuismo. Con la continuità storica, Duhem sostiene la soluzione realista dei problemi epistemologici trattati nella *Théorie physique*, con il continuismo si dà valore all'atteggiamento metodologico conservatore assunto da sempre nella propria pratica di scienziato militante, col mostrare il lungo lavoro antecedente la rivoluzione seicentesca e i suoi profondi nessi con questa si fa opera di apologetica, sia rivalutando il ruolo svolto dalla Chiesa nella storia della scienza, sia ripresentando, ora in maniera pienamente esplicita e con grande enfasi, l'idea di un dio che presiede il corso di quella storia.

Credo che il nesso tra continuismo ed epistemologia e quello tra continuismo e lavoro scientifico di Duhem siano stati già esaminati a sufficienza; resta da esaminare il terzo ruolo del continuismo. L'uso apologetico del continuismo quale argomento in favore dell'esistenza di Dio è affermato con chiarezza estrema in conclusione delle *Origines de la statique*:

Ogni proposizione della statica è stata costituita lentamente per mezzo di una moltitudine di ricerche, di tentativi, di esitazioni, di discussioni, di contraddizioni. In questa moltitudine di sforzi, nessun tentativo è stato vano, tutti hanno contribuito al risultato; ognuno ha giocato il proprio ruolo, preponderante o secondario, nella formazione della dottrina definitiva; lo stesso errore è stato fecondo, le idee false fino alla stranezza di Beaugrand e di Fermat hanno costretto i geometri ad esaminare minuziosamente la teoria del centro di gravità, a separare le verità preziose dalle inesattezze alle quali esse si trovavano mescolati.

E tuttavia, mentre tutti questi sforzi contribuivano all'avanzamento di una scienza che noi contempliamo oggi nella pienezza del suo compimento, nessuno di coloro che hanno prodotto questi sforzi sospettava né la grandezza né la forma del monumento che stava costruendo ... Muratori abili a tagliare una pietra e a cemen-

tarla, lavoravano a un monumento di cui l'architetto non aveva rivelato il piano.

In qual modo tutti questi sforzi avrebbero potuto concorrere esattamente alla realizzazione di un piano di manovra sconosciuto, se questo piano non fosse preesistente e chiaramente visto nella immaginazione di un architetto, e se questo architetto non avesse avuto il potere di orientare e di coordinare il lavoro dei muratori? Lo sviluppo della statica ci mostra, altrettanto e più ancora dello sviluppo di un essere vivente, l'influenza di un'idea direttrice. Attraverso i fatti complessi che compongono questo sviluppo noi percepiamo l'azione continua di una Sagesse che prevede la forma ideale verso cui la scienza deve tendere e di una Potenza che fa convergere verso questo fine gli sforzi di tutti i pensatori; in una parola, noi vi riconosciamo l'opera di una Provvidenza⁴⁸.

La rivalutazione del ruolo della Chiesa nella storia della scienza divenne invece un obiettivo chiaramente perseguito negli anni successivi al 1906, soprattutto con la scoperta della scuola parigina di Buridano e di Oresme.

Questa scoperta si colloca dopo il 1909, anno di pubblicazione della seconda serie degli *Études sur Léonard...* Nelle prime due serie viene dato grande risalto alla figura di Alberto di Sassonia, mentre Buridano è discusso, nella seconda serie, a proposito della questione dell'infinito⁴⁹, dell'essenza specifica⁵⁰, ma non per la sua teoria dinamica, e Oresme viene citato incidentalmente solo due volte, unicamente nella prima serie. Solo dopo la stesura della seconda serie, ma certamente nello stesso anno 1909, Duhem studiò i due fondamentali manoscritti, il *Questiones totius libri phisicorum edite a magistro Johanne Buridam* e il *Traité du ciel et du monde* di Oresme, che gli consentiranno, nella terza serie degli *Études sur Léonard...* di sostenere la celebre tesi secondo cui la dinamica dei maestri parigini del XIV secolo era stata una chiara anticipazione della dinamica seicentesca e quella teoria, attraverso la mediazione di Alberto di Sassonia, Leonardo, Piccolomini, Scaligero, Bernardino Baldi, Giambattista Benedetti, era giunta sino a Galileo. Con questo fondamentale volume del 1913, Duhem giunse a dare una conferma, ai suoi occhi decisiva, della tesi del continuismo, in grado di sbaragliare il giudizio negativo sulla fisica medioevale che la totalità della cultura laica condivideva. Uno storico della levatura di Milhaud aveva scritto nel 1906: « Supponete che la stampa fosse stata inventata due secoli prima: essa avrebbe aiutato a rafforzare l'ortodossia, sarebbe servita soprattutto

⁴⁸ Duhem, 1905-06, II, pp. 289-90.

⁴⁹ Duhem, 1906-13, II, p. 380 e ss.

⁵⁰ *Ibid.*, p. 430 e ss.

a propagandare, oltre alla *Summa* di S. Tommaso e qualche altra opera dello stesso genere, le bolle di scomunica e i decreti del Sant'Uffizio »⁵¹. Nel 1913 Duhem può con orgoglio replicare: « Se la stampa fosse stata inventata due secoli prima, essa avrebbe pubblicato opere, allora composte, che sulle rovine della fisica di Aristotele hanno posto le fondamenta di una meccanica di cui i tempi moderni sono giustamente fieri »⁵².

Ormai le ambizioni storiografiche di Duhem e la sua convinzione circa la validità della tesi continuista erano divenute tanto potenti da spingerlo ad abbandonare quasi completamente il lavoro di ricercatore scientifico e ad intraprendere la grande impresa di scrivere la storia delle scienze fisiche sin dai primi documenti conosciuti. Nello stesso 1913 vide infatti la luce il primo volume di *Le système du Monde*, monumento della storiografia scientifica. Prima di morire tre anni dopo, Duhem riuscì a terminare i primi quattro volumi dell'opera, ma il suo lavoro era stato tale da permettere l'uscita nel giro di soli tre anni di altri tre volumi, cui poi verranno aggiunti altri tre volumi assai meno compiuti.

La monumentale opera inizia con l'affermazione della tesi ispiratrice, quella continuista:

Nella genesi di una dottrina scientifica, non c'è un inizio assoluto; per quanto all'indietro si risalga la linea dei pensieri che hanno preparato, suggerito, annunciato questa dottrina, si giunge sempre a delle opinioni che, a loro volta, sono state preparate, suggerite, annunciate; e se si cessa di seguire questo concatenamento di idee che sono procedute le une dalle altre, non è perché si sia messo le mani sulla maglia iniziale, ma è che la catena si affonda e scompare nelle profondità di un insondabile passato⁵³.

Tuttavia *Le système du Monde*, soprattutto nei volumi pubblicati in vita da Duhem, ove si affronta la storia antica e l'astronomia medioevale, se aveva un chiaro intento apologetico nel continuismo, non poteva avere l'altro intento apologetico che era invece presente negli *Études*. In questi ultimi, infatti, Duhem ricostruì un frammento importantissimo della storia della fisica medioevale che non solo portava ulteriore conferma alla tesi continuista, ma offriva anche argomenti per sostenere il ruolo propulsivo svolto dalla Chiesa cattolica.

Gli ostacoli e le resistenze offerte dalla Chiesa cattolica al progresso scientifico erano da vari anni uno dei principali cavalli di battaglia del

⁵¹ Milhaud, 1906, pp. 268-9.

⁵² Duhem, 1906-13, III, p. XIII.

⁵³ Duhem, 1913-59, I, p. 5.

positivismo laico e anticlericale. La traduzione francese del 1875 del celebre testo di Draper *History of the conflict between religion and science* in cui si raccontava il perenne, insanabile conflitto tra scienza e religione, aveva conosciuto un successo enorme (nel 1908 già vi erano state 12 edizioni) e vi erano stati tentativi di risposta sul piano storiografico da parte della cultura cattolica, come *L'église et la science* di De Smedt (1877) e *Savants et Chrétiens* di Ortolan (1888). Prendiamo questo secondo testo, piú vicino cronologicamente a Duhem ed opera di uno dei piú importanti e apprezzati apologeti del periodo⁵⁴, per valutare il livello di tali risposte. Ortolan vuol sostenere la tesi che « nessuna istituzione sulla terra ha fatto quanto la Chiesa per l'avanzamento della scienza e la protezione degli scienziati. Sempre essa ha usato la sua influenza per incoraggiare le ricerche scientifiche, sempre ha aiutato, favorito e ricompensato coloro che si erano distinti nella cultura in qualche branca del sapere »⁵⁵. La maggior parte delle scoperte e delle invenzioni utili appartiene ai cattolici, pagani ed arabi hanno solo ostacolato la scienza.

Quando si passa ad esaminare le argomentazioni storiche a sostegno di questa tesi si rimane colpiti da un'incredibile povertà di riferimenti. I soli « scienziati » citati sono gli enciclopedisti cristiani: Boezio, Cassiodoro, Beda, Isidoro, Rabano Mauro, Ugo di S. Vittore, Ruggero Bacono, i quali, in quanto enciclopedisti, possono essere citati per aver scritto qualcosa in tutti i rami della scienza. Quanto all'importanza delle « scoperte » fatte sembra che la piú importante di tutte sia stata la scoperta della bussola! Particolarmente povera è la sezione dedicata alla meccanica che si risolve in solo due pagine, si limita a questioni di meccanica pratica e cita solamente Pappo, Boezio e Cassiodoro. Se si confrontano queste due pagine con le centinaia che di lí a pochi anni Duhem dedicherà agli studi di meccanica compiuti da scienziati cattolici medioevali, non si può fare a meno di rilevare un abisso tra l'apologetica duhemiana e quella di Ortolan. L'ampiezza e la serietà del lavoro storiografico di Duhem fu tale da far apparire un libro comparso un ventennio prima un'opera vecchia di secoli!

Credo sia comprensibile lo stato d'animo entusiasta, l'ardore con cui Duhem compiva un lavoro storiografico che si andava rivelando ai suoi occhi un'opera di riabilitazione della Chiesa cattolica senza prece-

⁵⁴ Di Ortolan si vedano, 1898 a, 1898 b, 1898 c, s. d.

⁵⁵ Ortolan, 1898 a, p. 8.

denti. Nelle sue pubblicazioni Duhem fu sempre assai prudente e attento a far scaturire « positivamente » questo atto di riabilitazione dall'analisi dei testi, senza eccessive dichiarazioni esplicite. Vi è però una lettera, scritta il 21 maggio 1911, quindi mentre egli era nel pieno del lavoro preparatorio per il terzo volume degli *Études sur Léonard de Vinci*, al Padre Bulliot in cui, ovviamente, Duhem lascia cadere ogni reticenza e svela con grande chiarezza il piano di battaglia apologetica che sorreggeva la sua storiografia. Per questo suo carattere, la lettera merita di essere citata con ampiezza.

Egli scrive a proposito di un progettato istituto di filosofia da organizzarsi in seno allo *Istitut catholique* di Parigi:

Vivendo in mezzo a coloro che professano delle dottrine contrarie alle nostre, io sono ben piazzato per conoscere il loro piano d'attacco contro di noi e per vedere dove le nostre difese devono essere particolarmente rinforzate [si noti come il tono sia adatto ad uno stato di guerra civile!] ... Ci viene mostrato come tutte le scienze siano nate dalla feconda filosofia ellenica, i cui piú brillanti adepti abbandonarono al volgo l'abitudine ridicola di credere ai dogmi religiosi. Ci si dipinge con disprezzo sovrano quella notte del Medioevo durante cui le scuole, asservite alle pratiche del Cristianesimo, unicamente occupate in discussioni teologiche, non hanno saputo raccogliere la minima parte della eredità scientifica dei Greci. Si fa risplendere ai nostri occhi il Rinascimento in cui gli spiriti, liberati infine dal giogo della Chiesa, hanno ritrovato il filo della tradizione scientifica, con il segreto della bellezza artistica e letteraria. Ci si bea nell'opporre, a partire dal sedicesimo secolo, la marcia sempre ascendente della scienza alla decadenza sempre piú profonda della religione. Ci si crede allora autorizzati a profetizzare la morte prossima di questa e nello stesso tempo il trionfo incontestato di quella ... Davanti a questi insegnamenti è tempo che l'insegnamento cattolico si levi, e che in faccia al suo avversario getti questa parola: menzogna! ... l'insegnamento che pretende di stabilire l'irriducibile antagonismo tra lo spirito scientifico e lo spirito cristiano è la menzogna piú colossale, piú audace che abbia mai tentato di ingannare gli uomini ...

Dalla sua nascita la scienza ellenica è tutta impregnata di teologia, ma di una teologia pagana. La teologia insegna che i cieli e gli astri sono degli dei, essa insegna che non possono avere altri movimenti all'infuori del moto circolare e uniforme che è il movimento perfetto; essa maledice l'empio che osa attribuire un movimento alla terra, luogo consacrato della divinità. Se queste dottrine teologiche hanno fornito dei postulati provvisoriamente utili alla scienza della natura, se esse hanno guidato i primi passi, esse sono ben presto divenute per la fisica ciò che i pannolini diventano per il bambino: degli ostacoli. Se lo spirito umano non avesse spezzato questi ostacoli, esso non avrebbe potuto oltrepassare né Aristotele in fisica, né Tolomeo in astronomia. Ora, questi ostacoli, chi li ha spezzati? Il Cristianesimo.

Chi ha, in primo luogo, profittato della libertà così conquistata per lanciarsi alla scoperta di una scienza nuova? La Scolastica. Chi dunque, nel mezzo del quattordicesimo secolo, ha osato dichiarare che i cieli non erano per nulla

mossi da intelligenze divine o angeliche, ma da un impulso indistruttibile ricevuto da Dio al momento della creazione, nello stesso modo in cui si muove una palla lanciata dal giocatore? Un maestro delle arti di Parigi: Giovanni Buridano. Chi ha, nel 1377, dichiarato il movimento diurno della terra piú semplice e piú soddisfacente per la mente del movimento diurno del cielo, chi ha nettamente rifiutato tutte le obiezioni sollevate contro il primo di questi movimenti? Un altro maestro di Parigi, divenuto arcivescovo di Lisieux: Nicola d'Oresme. Chi ha fondato la dinamica, scoperto la legge della caduta dei gravi, posto le fondamenta di una geologia? La Scolastica parigina in tempi in cui l'ortodossia cattolica della Sorbona era proverbiale nel mondo intero. Che ruolo hanno giocato nella formazione della scienza moderna quei liberi spiriti, tanto vantati, del Rinascimento? Nella loro superstiziosa e acritica ammirazione dell'antichità essi hanno misconosciuto e trascurato tutte le idee feconde che aveva prodotto la Scolastica del quattordicesimo secolo, per riprendere le teorie le meno sostenibili della fisica platonica o peripatetica. Cosa fu, alla fine del XVI secolo e all'inizio del XVII secolo quel grande movimento intellettuale che ha prodotto le dottrine ormai ammesse? Un puro e semplice ritorno agli insegnamenti che dava, nel medioevo, la Scolastica di Parigi, in modo che Copernico e Galileo sono i continuatori e in un certo modo i discepoli di Nicola d'Oresme e di Giovanni Buridano. Se dunque questa scienza, di cui noi siamo così legittimamente fieri, ha potuto vedere la luce, è perché la Chiesa cattolica ne è stata la levatrice⁵⁶.

Ma la riabilitazione della Chiesa cattolica, oltre che attraverso la scoperta della scienza prodotta entro la sua struttura organizzativa, venne tentata da Duhem anche in un'altra direzione, con uno dei testi piú famosi e scandalosi da lui scritti, *ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ*, comparso nel 1908, dapprima sugli *Annales de philosophie chrétienne*, poi sotto forma di volume, in cui si sosteneva « che la logica era dalla parte di Osiander, Bellarmino e di Urbano VIII e non dalla parte di Keplero e di Galileo, che quelli avevano compreso l'esatta portata del metodo sperimentale e che, a questo proposito, questi ultimi si erano sbagliati »⁵⁷.

Il « Caso Galileo » era, ovviamente, l'argomento piú potente tratto dalla storia da coloro che rimproveravano alla Chiesa cattolica di aver svolto un'opposizione allo sviluppo della scienza. Anche per Duhem, in effetti, da quelle vicende era derivato un grave danno per l'immagine della Chiesa e il processo a Galileo si era risolto con effetti piú negativi per la Chiesa che non per la scienza. In una lettera scritta a Favaro il 29 luglio 1916, pochi giorni prima di morire, Duhem scriveva: « Se la

⁵⁶ Cit. in H. P. Duhem, 1936, pp. 158-167.

⁵⁷ Duhem, 1908 a, p. 588.

condanna di Galileo ha nuociuto alla scienza, essa ha nuociuto ben piú ancora alla Chiesa, che ne fu la principale vittima »⁵⁸.

La difesa dell'operato della Chiesa nei confronti della rivoluzione scientifica compiuta da Duhem in $\Sigma\Omega\text{ZEIN TA } \Phi\text{AINOMENA}$ si fonda sull'accusa rivolta a Keplero e a Galileo di aver confuso l'oggetto della teoria fisica con quello della metafisica, facendo della teoria copernicana una spiegazione del sistema solare, mentre, come ogni altra teoria, essa poteva avere solo funzioni rappresentative. Ben aveva fatto pertanto Bellarmino a suggerire a Galileo di accogliere il sistema copernicano solo in quanto ipotesi astronomica particolarmente adatta a « salvare i fenomeni ». Questa interpretazione strumentalista delle teorie astronomiche aveva nel Seicento alle proprie spalle una grande tradizione che Duhem, riprendendo la tesi che in gioventú aveva appreso da Mansion, tenta di far risalire molto indietro nel tempo, addirittura sino a Platone. La Chiesa si ricollegò a questa tradizione, mentre Keplero e Galileo la rinnegarono.

Io credo che la finalit  di questo testo sia schiettamente apologetica: si tratta di mostrare la ragionevolezza dell'atteggiamento assunto dai massimi responsabili ecclesiastici nello scontro con Galileo. Il libro non vuole invece essere n  una fondazione della epistemologia duhemiana n  una sua conferma sul piano della storia. Che non voglia essere una fondazione   evidente dalla circostanza che Duhem non si preoccupa mai di discutere i motivi per i quali   da preferire una concezione rappresentativa delle teorie scientifiche ad una esplicativa, limitandosi ad illustrare i pareri di questo o quello studioso a questo proposito. Per chiarire perch  la concezione rappresentativa sia meglio di quella esplicativa, Duhem avrebbe dovuto riscrivere la *Théorie physique*, che egli qui d  ovviamente per scontata.

Pi  facile   invece compiere l'errore di interpretare $\Sigma\Omega\text{ZEIN TA } \Phi\text{AINOMENA}$ come un libro scritto per confermare sul piano della storia la validit  di un'epistemologia. Ad esempio, Michel Fichant scrive:

Duhem ha scritto sotto il titolo di $\Sigma\Omega\text{ZEIN TA } \Phi\text{AINOMENA}$, *Essai sur la notion de théorie physique de Platon   Galilée*, un'opera che fa congiunzione tra la sua epistemologia e la sua storia della scienza: si tratta allo stesso tempo di una ripresa della storia al livello delle norme di spiegazione che si sono proposte le

⁵⁸ Lettera inedita del carteggio Favaro presso la Domus Galilaeana di Pisa n. 8794.

teorie scientifiche e di una *conferma* per mezzo della storia del libro sistematico sulla teoria fisica »⁵⁹.

Sicuramente Duhem vuole anche dare un certo lustro alle proprie idee epistemologiche mostrando come esse si inseriscano in una tradizione antica, ma non ritiene certo di poter trovare una *conferma* a tali idee nei pareri espressi dai vari studiosi. Egli è ben conscio di correre un grosso rischio mettendosi su questa strada. È lo stesso rischio che non aveva saputo evitare negli anni '90 quando, come si è visto, affrontando la storia della scienza dal Seicento in poi, aveva incontrato una maggioranza di scienziati meccanicisti, metodologicamente sulla via sbagliata, e per spiegare il successo di quella scienza era stato costretto a ricorrere all'idea di un dio-reggente la storia della scienza. E in ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΨΑΙΝΟΜΕΝΑ Duhem si premura di avvertire che « i più grandi artisti non sono sempre quelli che filosofano meglio sulla loro arte »⁶⁰.

Infatti la conferma alla concezione di Bellarmino-Duhem delle teorie fisiche che si evince dal libro è assai povera. Che conferma può dare alla concezione rappresentativa un'opera in cui si mostra che *contro* questa concezione si sono schierati, ad esempio, gli astronomi arabi, molti tolemaici, Copernico, Tycho Brahe, Keplero, padre Clavio, Galileo? L'« inchiesta » condotta nel libro tra i vari pensatori che si sono espressi sulla natura della teoria fisica condurrebbe piuttosto a *condannare*, usando il criterio della maggioranza, la concezione rappresentativa, e Duhem non fa nulla per nascondere i propri numerosi avversari.

Il libro può suscitare l'impressione opposta, cioè l'impressione che con esso Duhem si fosse sforzato di chiamare a raccolta tutti gli « strumentalisti » della storia della scienza, solo se non si tiene presente che l'indagine sul filone dell'astronomia matematica, intesa come distinta dall'astronomia fisica, quindi con la funzione di « salvare i fenomeni », non era affatto una novità per la storiografia francese. L'importantissimo lavoro di Paul Tannery, *Recherches pour l'histoire de l'astronomie ancienne* era tutto centrato sull'opposizione tra l'astronomia dei Greci che andavano alla ricerca di una teoria vera e l'astronomia nata nel periodo alessandrino che aveva fatto dell'astronomo un *calcolatore*

⁵⁹ Fichant, 1971, pp. 77-8 (corsivo mio).

⁶⁰ Duhem, 1908 a, p. 371.

alle dipendenze dell'astrologo, situazione, questa, che si era prolungata sino al XVII secolo. Ripresentando certi testi di astronomi matematici Duhem non faceva, né intendeva fare, opera molto originale, svelare una qualche tradizione metodologica sino ad allora sconosciuta.

Egli intendeva invece, e in questo stava la sua originalità, collegare questa tradizione, ben nota, agli avversari di Galileo, far vedere che l'opposizione al copernicanesimo non fu generata solo da pregiudizi teologici, metafisici, dettati da un conservatorismo estraneo alle ragioni del metodo scientifico. In questo suo tentativo, Duhem si spinge però troppo oltre, presentando un'opposizione a Galileo che si muove solo sulla linea di una corretta (agli occhi di Duhem) concezione metodologica e respinge il copernicanesimo solo per motivi di ordine metodologico. In questo modo Duhem compie un inaccettabile appiattimento delle dimensioni della rivoluzione scientifica che riduce lo scontro, il quale fu scontro tra cosmologie, concezioni teologiche, filosofie, teorie della conoscenza e teorie fisiche a un semplice scontro tra schemi geometrici alternativi per salvare le apparenze.

Questo rimprovero è stato fatto a più riprese al testo duhemiano, in primo luogo da Koyré⁶¹, ed è ora diventato un luogo comune. Io trovo il rimprovero fondamentalmente corretto, ma ritengo che vada accompagnato da alcune precisazioni che ne alterano il significato tradizionale. Solitamente, basandosi su ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ si afferma che Duhem ha dato, nel senso sopra descritto, una visione riduttiva della rivoluzione scientifica. Dice ad esempio Fichant:

per « salvare allo stesso tempo tutti i fenomeni » occorre stabilire che la stessa meccanica e la stessa dinamica valgono per la terra e i cieli, il mondo sublunare e quello dei pianeti; occorre rompere la rappresentazione antica e medioevale del cosmo ordinato e gerarchizzato e con ciò stesso anche l'idea di scienza di Aristotele e dei suoi commentatori che ha un senso solo per una tale rappresentazione del mondo⁶².

Sicuramente, lo ripeto, il lettore di ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ si trova facilmente d'accordo con questa accusa, ma un'attenta considerazione del pensiero duhemiano credo ci costringa ad una valutazione più circospetta.

Innanzitutto questo testo non è un libro di storia della scienza, non vuole affrontare il problema di quello che è

⁶¹ Koyré, 1961, p. 84 e ss.

⁶² Fichant, 1971, pp. 83-4.

stata la rivoluzione copernicana, è uno studio, piú limitato, sulle concezioni della teoria astronomica e si limita a contrapporre nelle discussioni i vari contendenti solo in relazione a quella concezione. Ma le concezioni sulla natura e la portata del metodo scientifico non esauriscono certo la storia di un fenomeno tanto complesso come la vittoria del copernicanesimo. Certo Duhem trova assai comodo limitarsi a concludere il proprio studio, coerentemente con i confini del problema scelto, contrapponendo la concezione metodologica di Bellarmino a quella di Galileo e riducendo lo scontro a scontro tra metodologie, perché in questo modo si cancellano dalla storia della Chiesa interpretazioni letterali delle Sacre Scritture e roghi sulle pubbliche piazze. Tuttavia questo rivela chiaramente lo scoperto intento apologetico di ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ mentre, proprio per questo motivo, non consente di ritenere tale libro il luogo in cui Duhem mostra la propria visione storica della rivoluzione copernicana.

Il disagio di dover sostenere qui, per l'intento schiettamente apologetico del libro, quella tesi tanto riduttiva traspare nettamente dalle parole dello stesso Duhem quando deve affrontare l'imbarazzante, ma inevitabile, questione: come mai i copernicani, così inavvertiti dal punto di vista del metodo, hanno costruito una scienza tanto feconda? In effetti, dice Duhem, al fondo dell'atteggiamento dei copernicani vi era una « verità », anche se male espressa: quando essi prendevano per verità fisiche le ipotesi astronomiche, intendevano, correttamente, riunificare fisica celeste e fisica terrestre.

Si esigeva che le ipotesi dell'astronomia fossero in accordo con l'insegnamento della fisica, si esigeva che la teoria dei movimenti celesti riposasse su delle basi capaci di reggere ugualmente bene la teoria dei movimenti che noi osserviamo piú in basso; si esigeva che il corso degli astri, il flusso e il riflusso del mare, il movimento dei proiettili, la caduta dei gravi fossero salvati con l'aiuto di uno stesso insieme di postulati, formulati nella lingua della matematica⁶³.

È chiaro che, così posta, la discussione sulla teoria astronomica copernicana doveva per forza storicamente uscire dai ristretti limiti delle questioni di astronomia matematica per investire il campo dell'astronomia fisica, quindi della cosmologia e della metafisica che ad essa erano strettamente collegate. Il problema del moto della terra doveva diventare un problema anche di ordine metafisico.

⁶³ Duhem, 1908 a, p. 592.

In ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ quest'ultimo passaggio non è compiuto perché porrebbe un problema nuovo rispetto a quello che il libro vuol trattare (le concezioni di astronomia matematica) e soprattutto perché andare ad esplorare le ragioni metafisiche che stavano nel Seicento alle spalle del rifiuto della Chiesa ad accettare il copernicanesimo avrebbe evidentemente fatto crollare la linea di difesa appena eretta, fondata su una drastica delimitazione dello scontro alle concezioni di metodologia scientifica. Poiché questo passaggio non è compiuto, il lettore è portato a trascurare il passo appena citato di Duhem e a ritenere che per Duhem la rivoluzione scientifica si appiattisse realmente a scontro tra schemi geometrici alternativi.

Ma se il rapporto tra mobilità della terra e metafisica non è trattato, e se ne comprendono i motivi, in ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ non ne consegue che esso fosse per Duhem poco importante. Nessuno dei critici di ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ che io conosco ha mai notato che proprio mentre stava lavorando a questo testo Duhem pubblicò sulla *Revue de philosophie* un'altra serie di articoli negli anni 1907-1908-1909 dal titolo complessivo *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, in cui l'oggetto d'indagine era proprio il nesso tra ipotesi della mobilità della terra e concezioni metafisiche. Scopo fondamentale del lavoro è dimostrare che la scelta a favore dell'ipotesi geocentrica o di quella eliocentrica è sempre stata compiuta, da Aristotele fino ai più moderni astronomi come Andrade, in base a motivi dettati da convinzioni metafisiche, mai da ragioni tratte dall'esperienza. « La testimonianza dei sensi, per quanto attenta la si supponga, l'esperienza, per quanto ingegnosa la si immagini, non può mai decidere se un corpo è in quiete o si muove ». I nostri mezzi di osservazione non possono conoscere che il movimento relativo. Tutti i filosofi che hanno parlato della immobilità della terra lo hanno fatto con argomenti non tratti dalla percezione. « Queste considerazioni, in cui la ragione aveva forzatamente messo qualcosa che non riceveva dai sensi, meritano propriamente il nome di metafisica »⁶⁴.

La tesi secondo cui per Duhem la rivoluzione scientifica non avrebbe implicato anche questioni di ordine metafisico, che può apparire plausibile, addirittura inevitabile, ad una prima lettura di ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ, si rivela insostenibile di fronte allo studio, contem-

⁶⁴ Duhem, 1909, pp. 6-7.

poraneo e di dimensioni addirittura superiori, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, che vuole appunto dimostrare che il problema della mobilità della terra non era questione di astronomia matematica, ma questione di ordine metafisico:

Occorreva dunque, perché Copernico potesse proporre la sua nuova dottrina astronomica, che egli respingesse la teoria del luogo e del movimento sostenuta dal commentatore (Averroè) e dai suoi discepoli. Lottando con insistenza contro questa teoria, discutendo e rovinando gli argomenti con i quali essa pretendeva d'imporsi, gli scotisti e gli occamisti si trovarono ad aver favorito l'avvento della nuova astronomia⁶⁵.

È chiaro che questi due lavori, compiuti non a caso contemporaneamente, sono complementari ai fini di un unico disegno apologetico: ΣΩZEIN TA ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ mostrava che per la tradizione metodologica derivata dall'astronomia matematica il problema del moto della terra non era decidibile dal punto di vista astronomico, il secondo lavoro, mostrando che quel problema era stato deciso effettivamente con argomentazioni di carattere metafisico confermava il primo. Il primo sosteneva che la verità del sistema copernicano non era decidibile sul terreno della pura metodologia scientifica, il secondo che quella verità era stata di fatto discussa sul terreno della metafisica. Entrambi servivano a dimostrare che Galileo non era il sostenitore di una « verità dimostrata scientificamente », ma di una soluzione impossibile da raggiungere con mezzi puramente scientifici e raggiunta solo con mezzi extrascientifici.

Del resto, se si considerano le opere in cui Duhem si è effettivamente proposto di affrontare il problema storico della rivoluzione scientifica, cioè le migliaia di pagine degli *Études sur Léonard de Vinci* e de *Le système du monde* ben difficilmente si può accusare Duhem di aver ignorato i rapporti tra teorie scientifiche e convinzioni metafisiche. Che altro è l'oggetto fondamentale dei dieci volumi dedicati alla genesi della rivoluzione copernicana se non la storia del difficile rapporto tra concezioni filosofiche, cosmologiche e fisiche, di derivazione platonica o aristotelica, e i problemi tecnici dell'astronomo matematico? Anzi, se si confrontano questi volumi con quelli di grandi storici dell'astronomia del periodo, come Schiaparelli⁶⁶ o Paul Tannery, si nota in essi con

⁶⁵ *Ibid.*, pp. 173-4.

⁶⁶ Schiaparelli, 1925-7.

tutta evidenza un assai minore impegno ed attenzione per i problemi tecnici dell'astronomia matematica (per questi problemi, anzi, Duhem si appoggia quasi sempre ai testi degli altri due grandi storici) e un interesse enormemente superiore per questioni metodologiche, fisiche, filosofiche e metafisiche. Uno storico dell'astronomia in senso stretto trova un materiale assai piú cospicuo in Schiaparelli e Tannery che non in Duhem, mentre lo storico della fisica o della cosmologia o il filosofo trovano indubbiamente piú interessanti i volumi de *Le système du monde*. Anche negli *Études sur Léonard de Vinci* le discussioni su questioni di storia della fisica sono spesso accompagnate o addirittura sostituite da discussioni su temi di ordine schiettamente filosofico. Decine e decine di pagine sono dedicate alla storia delle discussioni sul problema dell'infinito, o alla questione della pluralità dei mondi, o a quello dell'origine dei fossili, oppure alla ricostruzione della filosofia complessiva di Nicola Cusano.

Sono convinto che nessuno storico della scienza importante precedente la prima guerra mondiale abbia piú di Duhem prestato attenzione all'influenza esercitata dalla metafisica sulla scienza. Questo non è affatto in contrasto con la polemica anti-metafisica condotta da Duhem a livello epistemologico. Innanzitutto perché, lo si è già visto, Duhem ha sempre avuto ben presente che numerosissimi scienziati, anche grandissimi, si sono comportati scorrettamente dal punto di vista delle norme metodologiche enunciate nella *Théorie*, quindi *di fatto* la matematica e l'esperienza da sole non sono capaci di rendere conto di tutta la complessità della storia. In secondo luogo, l'analisi epistemologica duhemiana era terminata con un ineliminabile passaggio alla storia: le pure ragioni della logica non sono sufficienti da sole a dirigere le scelte teoriche, è il concreto flusso della storia a guidare lo scienziato e in questo flusso pesano anche ragioni che non sono matematiche o sperimentali. Già nel 1893 Duhem aveva a questo proposito affermato che uno scienziato non è guidato nel suo lavoro dalla sola logica, « la disposizione speciale del suo spirito, le sue facoltà dominanti, le dottrine diffuse nel suo ambiente, la tradizione dei suoi predecessori, le abitudini che egli ha preso, l'educazione che ha ricevuto gli serviranno da guida, e tutte queste influenze si ritroveranno nella forma presa dalla teoria che concepirà »⁶⁷. Si è già visto nel precedente capitolo come

⁶⁷ Duhem, 1893 d, p. 377.

questo pensiero sia divenuto nella *Théorie physique* una delle tesi centrali del libro. Oltretutto di fatto, matematica ed esperienza da sole erano perciò insufficienti per Duhem a render conto della dinamica storica anche di diritto.

La metafisica, dunque, ha avuto un peso molto importante agli occhi di Duhem nel corso della storia della scienza. È del tutto ingiustificato ogni rimprovero del tipo di quello che gli rivolge Agassi: « La metafisica ha quindi una profonda influenza sulla fisica e perciò Duhem si è sbagliato »⁶⁸. Così come, di conseguenza, è del tutto erroneo attribuire il continuismo storico alla mancanza di attenzione verso il ruolo della metafisica. Qui credo si confonda una questione teoretica con una storica: è vero che, dal punto di vista della evoluzione avuta dagli studi di storia della scienza nel Novecento, la critica al continuismo duhemiano sia stata iniziata da alcuni studiosi che hanno prestato molta attenzione alle componenti « metafisiche » della impresa scientifica, come Burtt e Koyré, ma è tutto da dimostrare che il continuismo sia conseguenza dell'eliminazione della metafisica dalla scienza e che, quindi, dimostrando l'influenza della metafisica sulla scienza si rovini il continuismo. Questo è il parere, ad esempio, ancora di Agassi: « Tuttavia, come E. A. Burtt ha provato nel suo stimolante volume *The metaphysical foundations of modern physical science* (1925), la storia della scienza è connessa con quella della metafisica e perciò deve contenere delle rivoluzioni »⁶⁹.

Ora, a parte il fatto che solo il tipico nazionalismo inglese può elevare un libretto, penetrante e stimolante fin che si vuole, ma di scarso apparato documentario e analitico, come quello di Burtt al rango di « eversore » della monumentale storiografia duhemiana, e anche tralasciando di discutere la non scontata tesi secondo cui la metafisica è necessariamente produttrice di rivoluzioni scientifiche, resta pur sempre il fatto che la storia della scienza di Duhem ammette e analizza la connessione tra scienza e metafisica, eppure è continuista. Questo è stato riconosciuto un po' contro voglia dallo stesso Koyré. Koyré negli *Études galiléennes* così sottolinea le ragioni del distacco tra scienza seicentesca e scienza medioevale: « Non si trattava di combattere teorie erronee o insufficienti, ma di rivoluzionare i quadri dell'intelligenza stessa, di sconvolgere un atteggiamento intellettuale, assai naturale in definitiva,osti-

⁶⁸ Agassi, 1978, p. 56.

⁶⁹ Ivi.

tuendolo con un altro che naturale non era »⁷⁰. Ma qual è lo storico, l'unico storico citato, a favore di questa tesi? Proprio Duhem! Al brano ora citato è infatti aggiunta in nota una citazione tratta dal *Système du monde*, in cui Duhem sottolinea la rottura che è stato necessario operare, per costruire la scienza moderna, con il senso comune e la fisica aristotelica che su esso era ricalcata.

Il continuismo duhemiano ebbe giustificazioni e origini diverse dalla scissione operata tra scienza e metafisica nel lavoro di ricostruzione della storia e diversa, a mio parere, è la critica che ad esso va rivolta. Di questo continuismo ho già trattato a più riprese, ma ora, in quanto esso costituisce l'elemento di gran lunga più discusso e noto della storiografia duhemiana, vale la pena di sviluppare, tenendo presente quanto già detto, alcune considerazioni sistematiche su di esso.

4. - IL CONTINUISMO.

Una prima considerazione che credo valga la pena di essere fatta, se non altro in quanto non viene fatta mai, è che il continuismo non fu una « trovata » di Duhem. Quando si critica la visione continuista della storia della scienza è sempre e solo Duhem ad essere messo sotto accusa e si mette in rilievo come questo continuismo fosse finalizzato a obiettivi apologetici e « reazionari ». Anche il giudizio che si dà di uno storico va storicizzato: fare del continuismo storico una creatura di Duhem oscura completamente quello che era l'ambiente culturale in cui tale idea si è posta ed è maturata.

Il continuismo storico, inteso come crescita graduale della conoscenza scientifica che non conosce rivoluzioni, ma solo rallentamenti e accelerazioni, era un luogo comune nella storiografia positivista. La stessa visione della storia comtiana presupponeva che, una volta giunta allo stadio positivo, una disciplina scientifica procedesse per estensione, accumulazione del sapere. Tutti i libri di storia della scienza prodotti in età positivista danno per scontato il carattere continuo del procedere della scienza nella storia e sono impostati di conseguenza.

La *Introduction à l'histoire des connaissances chimiques* di Chevreul (1866) è impostata secondo lo stile del « manuale aggiornato »: la

⁷⁰ Koyré, 1979, p. 9.

prima parte dà una sintesi delle conoscenze piú moderne e i capitoli storici fanno vedere come si è giunti a quelle conoscenze, eliminando in via di principio errori e mutamenti di rotta. Wurtz, nella sua *Histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours* (1868), oltre a dichiarare che « la chimica è una scienza francese », afferma che la chimica è « frutto di un progresso lento e continuo »⁷¹. Berthelot scrive i tre volumi de *La chimie au moyen âge* (1893) per colmare, con lo studio dei manoscritti arabi e siriani, la lacuna esistente nella storia dell'alchimia tra gli alchimisti greci e quelli latini del XIV secolo, sforzandosi di ricostruire una linea di progresso e di tradizione ininterrotta, e in *Les origines de l'alchimie* (1885) si sforza di ritrovare analogie tra le nozioni piú moderne e quelle dei primi alchimisti⁷². Paul Tannery dichiara che, grazie al proprio metodo storico, egli arriva a « riconoscere una unità singolare e un legame del tutto naturale tra le dottrine che si è soliti considerare, dal punto di vista filosofico, discordanti e contraddittorie »⁷³.

Il continuismo continuò ad essere una categoria diffusissima anche dopo il grande dibattito convenzionalista. Le Dantec in *Lois naturelles, réflexions d'un biologiste sur les sciences* (1904) presenta un modello ispirato all'evoluzionismo che prevede un processo di crescita della conoscenza continuo e Jules Tannery, discutendo di questo libro, dichiara: « Io mi lascio prendere dalla seduzione delle ipotesi che voi sviluppate. Perché mi seducono? A causa della mania della continuità »⁷⁴. Foveau de Courmelles, in *Le bilan scientifique du XIX^e siècle* (1907), afferma: « Il progresso è come la natura, non fa salti, va sicuramente e lentamente. La tale scoperta, che a noi pare folgorante e momentanea non è che il risultato reale di lunghi e pazienti sforzi di migliaia di ricercatori »⁷⁵.

Nello stesso Poincaré è presente una visione continuista dello sviluppo storico fondata su una distinzione, assai simile a quella duhemiana, tra modelli, immagini che il fisico usa e che sono destinati a crollare, ed equazioni che fissano *rapporti* tra elementi della realtà e che permangono nel corso della storia. Così, ad esempio, la sostituzione della

⁷¹ Wurtz, 1868, pp. I-II.

⁷² Berthelot, 1885, cap. II, lib. IV: « Teorie degli alchimisti e teorie moderne ».

⁷³ Cit. in Duhem, 1905 a, p. 5.

⁷⁴ J. Tannery, 1912, p. 46.

⁷⁵ Foveau de Courmelles, 1907, p. 6.

teoria ottica di Fresnel, che attribuiva la luce ai movimenti di un etere meccanico, con quella di Maxwell non rappresenta, a parere di Poincaré, la rovina della teoria piú antica. Il compito della teoria di Fresnel (e di tutte le teorie fisiche in generale) non è quello di spiegare come sia realmente l'etere, se esso sia o no composto di atomi e come questi atomi si muovano, bensí quello di prevedere i fenomeni ottici. Ora, questo compito è ancora assolto dalla teoria, le sue equazioni sono da considerarsi sempre vere, cioè i rapporti messi in luce non si sono dimostrati errati. Ciò che è stato piuttosto sostituito è solo l'immagine che noi avevamo degli oggetti che entrano in certi rapporti, non i rapporti stessi. Le equazioni di Fresnel « esprimono dei rapporti e, se le equazioni restano vere, è perché questi rapporti conservano la loro realtà. Esse ci insegnano, ora come prima, che c'è il tale rapporto tra qualcosa e qualche altra cosa: solamente questo qualche cosa noi lo chiamavamo prima *m o v i m e n t o*, ora lo chiamiamo corrente elettrica. Ma queste denominazioni non erano che delle immagini sostituite agli oggetti reali che la natura ci nasconderà eternamente »⁷⁶. Questa posizione di Poincaré (e il suo esempio particolare) ebbero una accoglienza assai vasta, persino in ambiente neotomista. Ad esempio De Lapparent in *Science et apologetique* (1905) scrive: « L'analisi di Fresnel ci permette di prevedere [la diffrazione] in tutti i dettagli e le formule restano esatte, perché i rapporti sono stati giustamente valutati, anche quando si respingerà la concezione fondamentale che è servita a stabilire la teoria, cioè quella di un mezzo vibrante imponderabile »⁷⁷.

Anche fuori dalla Francia la storiografia scientifica del periodo in cui operò Duhem fu fondamentalmente continuista: grandi storici come Wohlwill, come George Sarton, presentano una visione della storia della scienza essenzialmente continuista⁷⁸.

Il continuismo non fu dunque un parto della bramosia apologetica duhemiana. Duhem respirò un'aria continuista sin dalle sue prime ricerche. Per questo motivo egli fu, come si è visto, continuista fin dai suoi primissimi lavori, senza peraltro attribuire ancora a questa tesi particolare rilevanza né, tantomeno, particolare originalità. Mi pare di aver dimostrato che il continuismo duhemiano trovi la propria origine negli studi scientifici, nella riflessione epistemologica e quindi nello studio del-

⁷⁶ Poincaré, 1902 (ed. 1927 p. 190).

⁷⁷ De Lapparent, 1905, p. 107.

⁷⁸ Cfr. Sarton, 1913.

la storia della scienza dal Seicento in poi. Si può ora aggiungere che esso trovò un ambiente del tutto ben disposto verso di esso fino a che si mantenne slegato da forti implicazioni apologetiche, fino a che, cioè, Duhem non si pose all'opera per estendere l'idea di sviluppo continuo anche alla rivoluzione scientifica.

Gli storici positivisti facevano coesistere la tesi continuista con l'esaltazione della rivoluzione galileiana. A volte ciò era fatto al prezzo di gravi contraddizioni. Ad esempio, Berthelot, campione del positivismo laico e repubblicano e grande storico del medioevo, quando polemizzava, affermava che il vero metodo scientifico « è venuto tardi al mondo », solo nel '600 con Galileo e l'accademia fiorentina⁷⁹, ma quando faceva lo storico dell'alchimia medioevale affermava che « la storia della chimica è molto interessante per lo studio dello sviluppo dello spirito scientifico. In effetti, è per questa via soprattutto che è stato introdotto il metodo sperimentale »⁸⁰.

Lo stesso Duhem, lo si è visto, non sfuggì a questa contraddizione nelle sue opere meno mature. Nel 1896 egli era già convinto continuista, ma condivideva con i positivisti il loro duro giudizio sulla scienza del medioevo.

Il continuismo storico duhemiano suscitò scalpore quando esso divenne un argomento apologetico e venne esteso alla storia della fisica prima di Galileo. Ancora oggi, in fondo, è sempre la ricostruzione che Duhem ha fatto del rapporto tra fisica medioevale e fisica galileiana ad essere oggetto di critica da parte dei « discontinuisti », mentre gli altri problemi storici ai quali Duhem ha applicato lo schema continuista non vengono mai analizzati. A ben vedere, è solo una critica alla continuità storica sostenuta da Duhem che sia mai stata fatta, quella compiuta da Koyré nei suoi *Études galiléennes*; tutti gli altri critici del continuismo duhemiano non hanno fatto altro che rifarsi a questa critica. Koyré, al tentativo duhemiano di mostrare l'esistenza di un legame tra dinamica galileiana e fisica medioevale, ha replicato che in sostanza questo legame si basa su un fraintendimento dei concetti impiegati reso possibile da confusione terminologiche. Anche se Galileo impiega gli stessi termini dei suoi « precursori », fondamentalmente il termine « *impetus* », egli designa con quelli, concetti completamente differenti.

Non è certo il caso di porre in dubbio la superiorità degli studi di

⁷⁹ Berthelot, 1886, p. 11.

⁸⁰ Berthelot, 1893, I, p. 1.

Koyré attorno alla rivoluzione scientifica, e in particolare attorno alla figura di Galileo, rispetto a quelli di Duhem (non foss'altro perché sono stati scritti alcuni decenni piú tardi), anche se si potrebbe osservare che validissimi storici, come Dijksterhuis⁸¹, hanno presentato in tempi recenti un Galileo molto piú vicino al Galileo di Duhem piuttosto che a quello di Koyré, un Galileo che non si staccò mai dalla legge fondamentale della dinamica peripatetica.

Quello che mi pare valga la pena di discutere è che da quella critica storica circostanziata si è spesso generalizzato cercando di individuare una metodologia generale presente in Duhem, capace di generare il « perverso » effetto del continuismo, giungendo a risultati a mio avviso inaccettabili.

Un tentativo in questa direzione è quello compiuto da Canguilhem, che ha caratterizzato la storia duhemiana come storia che trova i « precursori » sradicandoli dal loro reale contesto storico. Il precursore

è un pensatore che lo storico crede di poter estrarre dal suo inquadramento culturale per inserirlo in un altro, ciò che equivale a considerare dei concetti, dei discorsi o dei gesti speculativi o sperimentali come passibili di essere spostati e ricollocati in uno spazio intellettuale in cui la reversibilità delle relazioni è ottenuta dimenticando l'aspetto storico dell'oggetto di cui si tratta⁸².

Io credo che questa accusa possa essere sostenibile solo per la trattazione che Duhem fa di alcuni personaggi minori, di cui a volte viene ripreso un solo passo e attraverso questo si cerca di mostrare affinità e somiglianze con idee di molto posteriori. Ma quale storico, anche il piú discontinuista, non cede alla tentazione di utilizzare un documento ai suoi occhi particolarmente significativo anche se non conosce, o non gli interessa conoscere, o non può conoscere, la concezione culturale complessiva dell'autore di tale documento? Duhem nelle sue opere ha trattato centinaia di autori e sarebbe assurdo che di ognuno di essi ci avesse lasciato un quadro completo e sistematico. Nessuno storico può procedere in questo modo.

L'importante è giudicare la procedura che Duhem attua nei confronti dei pensatori che dal suo punto di vista risultano particolarmente significativi: in questi casi Duhem compie un grandissimo sforzo per cercare di ricostruirne la personalità complessiva, di non sradicarli dal loro « inquadramento culturale ». Si consideri, ad esempio, Buridano,

⁸¹ Dijksterhuis, 1971.

⁸² Canguilhem, 1969, p. 21.

figura cardine nel progetto duhemiano in quanto iniziatore della scuola parigina e « precursore » principale di Galileo.

Negli *Études sur Léonard de Vinci*, Duhem dedica circa 80 pagine all'analisi della sua figura, senza tener conto di quelle molto più numerose che egli dedica a descrivere i rapporti tra Buridano e il suo ambiente o i suoi successori. In quelle pagine Duhem offre una ricostruzione complessiva dell'intera filosofia di Buridano, non limitandosi affatto a ritagliare « concetti », « discorsi » o « gesti » per ricollocarli in un ambiente storico differente. Se così non fosse non si spiegherebbe una circostanza singolare: gli storici della rivoluzione scientifica criticano il legame stabilito da Duhem tra Galileo e scienza del medioevo, ma gli storici del medioevo continuano a tenere in grandissimo conto le analisi compiute da Duhem sugli scienziati medioevali.

A mo' parere Duhem ci ha lasciato una visione inaccettabile della rivoluzione scientifica, non per le sue carenze nel campo della storia medioevale, cioè sui « precursori », ma per carenze su Galileo e i suoi contemporanei. Il suo errore non fu tanto quello di « modernizzare » eccessivamente i fisici parigini, sradicandoli dal loro contesto storico, né quello di aver messo in rilievo dei residui aristotelici nel pensiero di Galileo (che realmente esistevano), ma quello di non aver voluto vedere, a causa della sua ossessione per il continuismo, in che cosa fosse consistito il passo in avanti compiuto da Galileo, come si fosse configurato il distacco di Galileo dalla vecchia cultura.

Può sembrare paradossale, ma Duhem in realtà non studiò mai veramente a fondo il rapporto tra dinamica galileiana e dinamica della scuola parigina. Egli affrontò lo studio di Galileo nel celebre scritto *De L'accélération produite par une force constante* del 1904, ove dichiara che

A costo di urtare le idee acquisite e di contraddire le leggende, occorre affermare che le opinioni sostenute da Galileo sulla dinamica portano l'impronta profonda dei principi peripatetici; si scostano assai poco dalle dottrine ammesse da un buon numero di fisici del XVI secolo, sono in notevole ritardo sulle intuizioni di qualcuno dei suoi predecessori⁸³.

Queste conclusioni furono poi riprese in *Les origines de la statique* del 1906.

Ora, in quest'epoca, Duhem non era neppure a cono-

⁸³ Duhem, 1904, p. 888.

scienza della fisica parigina che verrà presa in esame solo nel terzo volume, del 1913, degli *Études sur Léonard*. Il giudizio di Duhem su Galileo del 1904 non poteva pertanto in alcun modo essere fondato su una analisi del suo rapporto con i « precursori » poiché in quell'anno questi erano ancora sconosciuti. Nel 1904 alla teoria dell'*impetus* Duhem dedica solo tre pagine, ma non indica alcun nome dei sostenitori di quella teoria, dice solo che essi devono essere esistiti perché Tommaso si affanna a criticarli!⁸⁴.

In effetti la ricostruzione che Duhem qui fa dell'opera di Galileo non è nient'altro che la ripresa di un saggio di Wohlwill: *Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes*, risalente agli anni 1883-1884 e non ha neppure la pretesa di essere molto originale. Eppure è sempre su questo testo che si appunta la critica al continuismo duhemiano, malgrado in esso il personaggio principale di quel continuismo, cioè la scuola parigina e la sua influenza, non fosse neppure intravisto da Duhem!

Quando Duhem ebbe scoperto e studiato la scuola di Buridano, ritornò a Galileo ponendo in chiusura al terzo volume degli *Études* un capitoletto dal titolo *La tradition parisienne et Galilée*. Qui vengono sintetizzate le argomentazioni contenute nel lavoro del 1904, a evidente dimostrazione che Duhem non aveva visto alcun motivo per approfondire ulteriormente lo studio di Galileo (tranne che per alcune particolari questioni di tipo bibliografico). In realtà, quindi, Duhem non affrontò mai approfonditamente il rapporto tra Galileo e la tradizione della fisica parigina perché quando scrisse su Galileo non conosceva quella fisica e quando fu venuto a conoscenza di quest'ultima non ritenne opportuno riprendere in considerazione il problema.

Questo fu il suo più grave errore e in questo senso va intesa la critica di Koyré. Duhem, accecato dalla tesi continuista, fu ben lieto nel vedere che la scoperta di un nuovo grande capitolo di storia della fisica poteva servire a confermare le tesi che aveva espresso nel 1904, ma non si accorse che proprio quella scoperta, proprio il suo straordinario lavoro storiografico, aveva aperto un problema che non esisteva nel 1904: se effettivamente nel medioevo era esistita una tradizione tanto moderna, prima sconosciuta, quale fu la

⁸⁴ *Ibid.*, p. 868.

reale « modernità » di Galileo? Era questo evidentemente un problema poco attraente per un continuista, che era ben soddisfatto di aver mostrato il legame di Galileo con il passato, e che si sarebbe tirato la zappa sui piedi andando alla ricerca di una nuova versione della « modernità » di Galileo. Questo problema fu proprio quello affrontato da Koyré, che, data le ricerche storiche di Duhem sulla fisica dell'*impetus*, si pose il compito di analizzare in che cosa la fisica galileiana si differenziasse dalla precedente. In questo senso, il continuismo duhemiano fu una premessa indispensabile alla storia discontinuista di Koyré e la critica storica di Koyré a Duhem era pienamente giustificata. Koyré non ha mai messo in discussione aspetti centrali della ricostruzione che Duhem ha fatto della scuola di Buridano, anzi si è ampiamente affidato alle tesi contenute negli *Études sur Léonard*. Ciò su cui Koyré ha incentrato la propria critica è stata l'analisi duhemiana della scienza di Galileo. Quanto negli *Études Galiléennes* di Koyré viene rimproverato a Duhem non è affatto d'aver troppo modernizzato la fisica dell'*impetus*, ma di non avere capito Galileo nei suoi aspetti più innovativi, fondamentalmente di non aver capito che mentre per *impetus* i parigini intendevano la causa del movimento, Galileo, o almeno il Galileo della maturità, identifica l'*impetus* con il movimento stesso, aprendo così la via al principio d'inerzia⁸⁵.

Un'altra versione, diversa da quella dello « sradicamento » dei precursori, della metodologia duhemiana che sarebbe atta a produrre continuità storiche è quella di Agassi. Agassi non accusa Duhem di modernizzare eccessivamente i precursori, anzi riconosce che

Il merito del convenzionalismo sta proprio in questo: che esso valuta un'idea scientifica paragonandola con il suo ambiente e con quelle precedenti piuttosto che con il manuale aggiornato.

Non ci può essere elogio maggiore per il metodo comparativo che quello di dire che esso è genuinamente storico. L'unico modo per rendergli piena giustizia è quello di applicarlo estesamente a dettagliate storie di casi famosi, lungo le direttrici seguite da Duhem⁸⁶.

Pure, Agassi crede di trovare in Duhem una « tecnica » particolare che serve a produrre continuità, detta « tecnica genetica ». Carattere fondamentale di questa tecnica è quello di « insinuare delle idee piut-

⁸⁵ Koyré, 1979, p. 234 e ss., p. 261 e ss.

⁸⁶ Agassi, 1978, p. 67. Agassi ha discusso il continuismo anche in Agassi, 1973.

tosto che affermarle e discuterle apertamente », quindi tecnica fondamentalmente disonesta:

Usando la tecnica genetica di Duhem, si può essere spesso tentati di suggerire ipotesi storiche false o probabilmente false, che non si affermerebbero esplicitamente. Se dovessi presentare la tecnica genetica di Duhem mentre la sto usando, descriverei dapprima tutte le applicazioni di questa tecnica anteriormente a Duhem, inclusi i passi di Whewell, e poi, dopo aver citato Duhem in proposito, direi che egli l'ha applicata con un'estensione maggiore di Whewell. Lascerei così al mio lettore di congetturare per suo conto, se crede, che Whewell ha influenzato Duhem, piuttosto di dire esplicitamente che, secondo me, Whewell ha proprio fatto ciò ⁸⁷.

Questa caratterizzazione subdola della storia duhemiana è profondamente errata e ingiusta e senza dubbio dipende dal fatto che, come ammette lo stesso Agassi, questi non ha « preso visione di tutti i numerosi volumi delle opere di Duhem » ⁸⁸. Duhem fu onesto e chiaro fino all'autolesionismo; i suoi libri furono tutti i libri di aperta, dichiarata polemica contro questo o quell'avversario, indipendentemente dal suo potere o dal suo prestigio. Egli affermò a lettere chiarissime il proprio continuismo e, laddove riuscì ad individuare nessi tra uno studioso e l'altro, fu a volte sin troppo ardito nel porli in evidenza. Soprattutto, e questa è l'obiezione decisiva ad Agassi, Duhem non pretese di « suggerire » legami accostando semplicemente il passo di uno studioso a quello di un altro, ma si sforzò, non sempre riuscendovi ovviamente, di scoprire se realmente il secondo avesse letto il primo.

Così, ad esempio, e si tratta dell'esempio più importante, Duhem non « suggerì » affatto l'ipotesi che Galileo fosse stato influenzato dalla fisica parigina, ma scrisse un libro di circa seicento pagine per dichiararlo con la maggior forza possibile, *Les précurseurs parisiens de Galilée*, terzo volume degli *Études*. Neppure si limitò ad accostare i passi dei « precursori » a quelli di Galileo per marcarne le somiglianze. Egli cercò di individuare per quali vie Galileo poteva essere giunto a conoscenza della fisica dell'*impetus* e di trovare nei testi dei vari autori riferimenti espliciti agli autori precedenti. Così, per Galileo, egli pone con tutta chiarezza il problema: « Questi libri, usciti dalla tradizione di Parigi o dalla tradizione di Oxford, che preparavano l'opera di Galileo e di Cartesio, Galileo e Cartesio li avevano letti? ». L'analisi dei riferimenti contenuti nelle opere giovanili di Galileo conduce, a parere di Duhem, ad

⁸⁷ Agassi, 1978, p. 54.

⁸⁸ *Ibid.*

una risposta altrettanto inequivocabile: « Delle opere che avevano introdotto in Italia le teorie della scuola di Oxford, degli scritti italiani che avevano commentato queste teorie, Galileo ne aveva letti un buon numero »⁸⁹.

« È questa collezione [quella di Alberto di Sassonia, di Temone, di Buridano curata da Georges Lokert nel 1516] che Galileo leggeva al tempo in cui redigeva le sue dissertazioni scolastiche, è attraverso questa collezione che egli è stato iniziato alla dinamica di Parigi. Non ci è permesso ora di invocare la testimonianza stessa del geniale pisano per salutare questi dottori parigini con il titolo di precursori di Galileo? »⁹⁰. Evidentemente i volumi scritti da Duhem di cui Agassi non ha « preso visione » sono parecchi, perché in tutte le sue grandi opere storiografiche Duhem ha sempre mantenuto un costante rigore documentario e una chiarezza nelle enunciazioni delle proprie ipotesi storiografiche che rendono del tutto infondata la pretesa di fare della sua storia una storia « per insinuazioni ».

Esiste un terzo tipo di caratterizzazione del continuismo su cui vale la pena di soffermarsi in quanto dovuta a Bachelard e perciò stesso risultata particolarmente presente nella cultura francese e responsabile della scarsa considerazione in cui questa ha tenuto e tiene Duhem. Si tratta della caratterizzazione del continuismo come illusione prodotta dalla eliminazione dalla storia di ogni contrasto, ogni dialettica nella scienza. Afferma Bachelard:

Poiché si fa il racconto continuo degli avvenimenti, si crede facilmente di rivivere gli avvenimenti nella continuità del tempo e si dà insensibilmente a tutta la storia l'unità e la continuità di un libro. Si sfuma allora la dialettica sotto un sovraccarico di avvenimenti minori. E in ciò che concerne i problemi epistemologici che ci occupano, non si beneficia dell'estrema sensibilità dialettica che caratterizza la storia della scienza ... Dipingere lo spirito scientifico come uno spirito canalizzato nel dogmatismo di una verità indiscussa, è fare la psicologia di una caricatura fuori moda. Il tessuto della storia della scienza contemporanea è il tessuto temporale della discussione. Gli argomenti che vi si incrociano sono altrettante occasioni di discontinuità⁹¹.

Anche questa terza caratterizzazione di una metodologia continuista, metodologia che produrrebbe il continuismo con l'eliminazione dalla

⁸⁹ Duhem, 1906-13, III, p. 580.

⁹⁰ *Ibid.*, p. 583.

⁹¹ Bachelard, 1972, p. 212.

storia della discussione, della dialettica, del contrasto, mi pare completamente insostenibile. La storia che ci offre Duhem, lo si è già detto in apertura di questo capitolo, è storia altamente drammatica, intessuta di contrasti profondi, di scontri, di discussioni, di polemiche, e, soprattutto, è una storia che *deve* procedere attraverso discussioni per motivi di ordine epistemologico: non è forse stato Duhem a criticare la nozione di esperimento cruciale, a sostenere che le ragioni della logica e dell'esperienza da sole non sono sufficienti ad operare le grandi scelte teoriche, ma che è indispensabile ricorrere al buon senso? Nessun altro più di Duhem ha contribuito a distruggere, con la sua critica epistemologica, concezioni ingenue, verificazioniste o falsificazioniste, del procedere della scienza. È l'epistemologia duhemiana che ha tolto alla cultura positivista ogni illusione circa il carattere sicuro, oggettivo, fattuale, al di sopra delle parti dell'impresa scientifica, e sarebbe davvero stupefacente se il Duhem storico dimenticasse questa fondamentale lezione del Duhem epistemologo. Ed infatti non è così: come si è già mostrato, la storia duhemiana è ricchissima di conflitti, lontanissima dall'essere una piatta apologia dell'esperienza e della matematica in cui gli scontri tra scuole di pensiero contrapposte sono trascurati o, peggio ancora, cancellati. Gli scontri tra la scuola di Berthelot e quella di Sainte-Claire Deville, tra i seguaci di Lagrange e quelli di Poisson, tra Fresnel e Biot, tra aristotelici e tolemaici, tra seguaci di Maxwell e allievi di Helmholtz, tra aristotelici ortodossi e sostenitori della fisica parigina, tra atomisti ed equivalentisti, tra assertori della teoria cinetica dei gas e « energetisti » costellano le pagine duhemiane. Tutte le opere storiche di Duhem, dalla prima all'ultima, raccontano una storia ricchissima di conflittualità, che nella dialettica tra posizioni contrapposte trova la sua fondamentale modalità di svolgimento.

Il problema vero, per Duhem, non era affatto quello di salvare il continuismo negando la dialettica, quanto piuttosto, al contrario, di rimanere continuista *n o n o s t a n t e* la costante messa in rilievo di scontri, di crolli catastrofici, di vittorie apparentemente decisive che nel giro di pochi anni si tramutano in sconfitte.

Questo problema era già chiaramente presente sin dal 1894 quando, riflettendo sulle vicende storiche dell'ottica, Duhem concludeva che l'aspetto fondamentale, o meglio il più appariscente, di quella storia era la circostanza che quanto ad una generazione era apparso verità, per la generazione seguente era divenuto errore. Questo potrebbe portare a ritenere vani gli sforzi degli scienziati i quali, in apparenza, si limitano a

criticarsi vicendevolmente distruggendo le teorie rivali. In realtà, al di sotto di questa apparenza tanto « conflittuale » di una storia simile al gioco del massacro, esiste la possibilità di reperire « il filo di una tradizione, di un progresso lento ma ininterrotto »⁹², il filo della fisica matematica svincolata dalle considerazioni modellistiche che ne accompagnano la storia. A questa impostazione Duhem rimarrà fedele tutta la vita.

A me non pare, dunque, che il continuismo duhemiano sia riconducibile principalmente a qualche carenza di fondo schiettamente storiografica, né al misconoscimento dell'influenza della metafisica sulla scienza, né alla mancata considerazione del contesto storico, né alla trattazione « disonesta » dei documenti, né al tentativo di fare una storia priva di contraddizioni. Se una critica di fondo va fatta al continuismo duhemiano essa è quella di esser stato, nelle sue grandi opere storiche, un continuismo *a priori* e *apologetico*. Duhem fu uno storico onesto, penetrante e attento alla complessità dell'impresa scientifica, ma le sue doti furono subordinate ad uno schema, un modello del mutamento scientifico precostituito. Duhem non fu continuista perché disattento verso la metafisica, o il contesto storico, o la discussione, o in grazia di una metodologia subdola, ma semplicemente perché si convinse della verità del modello continuista *prima* di accingersi a comporre le proprie grandi opere storiche. Abbiamo visto come Duhem fosse giunto assai presto alla tesi continuista e come questa tesi avesse assunto un particolare valore apologetico ed epistemologico prima delle grandi ricerche di storia medioevale. La storia fu quindi subordinata all'ipotesi, o meglio alla certezza continuista.

Questo non avvenne però con qualche approccio metodologico particolare, un qualche metodo continuista in grado di produrre « meccanicamente » la continuità. Duhem poté trattare la storia con grande ampiezza di vedute e una estrema, rigorosa, serietà nei confronti dei documenti, eppure produrre una storia continuista semplicemente con alcuni riaggiustamenti *ad hoc* che servivano, volta per volta, a superare le difficoltà. Non ci fu in Duhem alcun speciale atteggiamento metodologico, alcuna carenza storiografica di fondo, vi fu la ferma fiducia nel proprio schema precostituito, fiducia in forza della quale egli poté affrontare anche le questioni più spinose per un continuista senza alcun timore: per salvare il continuismo gli furono sufficienti alcune ipotesi *ad hoc*. Ad esempio, la teoria di Ampère sull'elettrodinamica non pare preceduta da

⁹² Duhem, 1894 o, p. 123.

nessuna lenta evoluzione e dunque sembra presentarsi come una brusca rottura? Non vi è né da inventare precursori con un uso subdolo dei testi né da misconoscere, reinterprelandolo, il pensiero di Ampère, per salvare il continuismo, basta fare un'ipotesi *ad hoc*, l'ipotesi che la lenta evoluzione necessaria a preparare l'ipotesi di Ampère si sia svolta in forma « condensata », oppure se qualcuno (cosa che spesso capita), a differenza di Ampère, non ha lasciato tracce documentarie di questa « evoluzione condensata », non vi è che da ipotizzare che questa sia avvenuta nel segreto del laboratorio:

Nel corso di quattro anni noi troveremo [nella storia dell'elettrodinamica] tutti i caratteri che abbiamo incontrato nell'evoluzione secolare della meccanica celeste. Noi non vedremo per nulla il genio di Ampère abbracciare con un colpo d'occhio un vasto dominio sperimentale già costituito e, per mezzo di una decisione libera e creatrice, scegliere il sistema di ipotesi che rappresenterà questi dati di osservazione. Noi vi noteremo le esitazioni, i tentativi, il progresso graduale ottenuto per mezzo di una serie di ritocchi parziali, che noi abbiamo notato durante il secolo e mezzo che separa Copernico da Newton⁹³.

A volte la storia dell'evoluzione graduale che ha prodotto un sistema di ipotesi fisiche ci rimane e ci rimarrà per sempre sconosciuta; essa si è condensata in un piccolo numero di anni e concentrata in un solo pensatore; l'inventore non ci ha fatto conoscere, come Ampère, le varie idee che nascevano nella sua mente man mano che esse venivano alla luce; imitando la lunga pazienza di Newton, ha atteso, per rendere pubblica la propria teoria, che essa avesse raggiunto una forma compiuta. Siamo ben certi, tuttavia, che non è sotto questa forma che essa si è tutta d'un tratto presentata alla sua mente, che questa forma è il risultato di perfezionamenti e di ritocchi innumerevoli⁹⁴.

È chiaro che, ammettendo che lo sviluppo lento e graduale si possa « condensare » e « concentrare » e, per di più, possa rimanere « sconosciuto per sempre », il continuismo è posto al di sopra di ogni possibile smentita. Ma è altrettanto chiaro che, come categoria storiografica, esso sia divenuto privo di valore esplicativo e euristico. Una cosa, infatti, è affermare il continuismo relativamente a pensatori distanti tra di loro decenni o secoli, e cosa ben diversa è intendere continuismo come alternativa a folgorazione, nascita improvvisa di una teoria già compiuta nella mente di un ricercatore. In questo secondo senso, evidentemente, il continuismo è una verità, ma verità *banale*, perché nessuno mai si sognerebbe di sostenere che una qualsiasi teoria è nata

⁹³ Duhem, 1906 a, p. 417.

⁹⁴ *Ibid.*, p. 418.

compiuta, presentandosi « tutt'ad un tratto » nella mente di uno scienziato. Posta in questi termini, l'alternativa discontinuismo-continuismo, cioè nei termini nascita improvvisa di un'intera teoria o lento progresso, è del tutto priva di un qualche valore per lo studio della storia ed è destinata a risolversi, scontatamente, in favore del continuismo.

La grande opera storica di Duhem ci insegna quanto sia pericoloso affrontare lo studio del passato avendo già in mente uno schema del mutamento scientifico preconstituito, da far valere sempre e ovunque. Duhem fu un grandissimo storico eppure, per confermare la propria visione apriorica, non esitò a rifugiarsi in soluzioni « facili », ma prive di valore, quali la tesi della « condensazione » e della « concentrazione » della lenta evoluzione appena vista. Con ciò non intendo affatto criticare il nesso strettissimo stabilito da Duhem tra storia ed epistemologia. Ritengo anzi che l'aver prodotto una storia ricchissima di analisi e di base documentaria, ma al contempo fortemente intrecciata con l'epistemologia, sia stato un merito grandissimo, e costituisca il tratto più moderno ed attuale di tutto il pensiero duhemiano. Solo in grazie della sua critica alla epistemologia positivista, Duhem poté offrire una storia della scienza tanto più ricca e affascinante della storia prodotta dagli storici positivisti: solo la critica all'esperienza cruciale, alla base empirica, alle pretese dell'induttivismo poté svincolare lo storico dalla semplice ricerca di « fatti » o di elaborazioni matematiche « dimostrative », spingendo a ricostruire una immagine del progresso scientifico in cui hanno diritto di cittadinanza la metafisica, gli scontri teorici, gli errori, le discussioni sugli esperimenti, il rifiuto delle evidenze empiriche, le opzioni filosofiche e metodologiche. In questo senso Duhem non dimostrò solo che « la filosofia della scienza senza storia della scienza è vuota » (cosa che in fondo aveva sostenuto anche Comte), cioè che la riflessione epistemologica deve essere riflessione sulla pratica scientifica, ma mostrò anche come la storiografia fosse dipendente da convinzioni epistemologiche, come solo rompendo con l'epistemologia positivista e assumendo come guida alla ricerca storica una epistemologia differente si potesse scrivere una storia della scienza non positivista, in altri termini mostrò anche che « la storia della scienza senza la filosofia della scienza è cieca »⁹⁵.

⁹⁵ Il motto è stato coniato da Lakatos, 1976 b.

Tuttavia la « filosofia della scienza » di Duhem non si limitò a porre in evidenza allo storico che sulle vicende della conoscenza scientifica possono pesare anche fattori diversi dalla matematica e dalla esperienza, come le convinzioni metodologiche, il « buon senso », la metafisica ecc., cioè non si limitò a proporre vari modelli possibili del mutamento scientifico, che potessero servire da guida per il lavoro storiografico. Essa volle fare qualcosa di più, o meglio di completamente differente: volle imporre un solo modello necessario di quel mutamento, il modello continuista. Così facendo, però, Duhem si vide costretto in molti punti a « produrre delle ricostruzioni razionali » puramente *ad hoc*. Per questo aspetto la filosofia della scienza divenne la responsabile di una storia destinata a verificare a tutti i costi uno schema rigido e apriorico, una storia in definitiva apologetica, non solo verso la Chiesa, ma soprattutto verso un determinato modello precostituito.

Non che questo modello fosse una costruzione arbitraria. Lo si è già detto più volte: il modello continuista trasse origine in Duhem dalle riflessioni sulle vicende della meccanica chimica ottocentesca e non fu perciò affatto un modello « vuoto ». Quello che però era forse un modello adatto a rappresentare la storia di una particolare disciplina in un particolare momento storico, assurse al rango di modello universale, valido per ogni branca della fisica e in ogni epoca storica. Duhem assolutizzò un modello che poteva avere solo un valore relativo e ne fece pertanto uno schema precostituito, adattabile ad ogni circostanza. Quando giunse ad imporre un modello universale di mutamento scientifico la « filosofia della scienza » di Duhem finì per fare della storia della scienza uno strumento apologetico di se stessa.

In altre parole, la grande opera storica di Duhem non ci insegna solo che « la filosofia della scienza senza storia della scienza è vuota, e la storia della scienza senza la filosofia della scienza è cieca », ci insegna anche che, cercando di privilegiare un unico modello di mutamento scientifico, « la filosofia della scienza rischia di ridurre la scienza ad apologetica ».

CAPITOLO QUINTO
DUHEM NELLA CULTURA DEL SUO TEMPO:
ALCUNI RAFFRONTI

Nei capitoli che precedono spero d'aver dimostrato che il pensiero di Duhem, così come esso viene solitamente esposto e valutato, su molti aspetti centrali non trova corrispondenza con i risultati di un'attenta analisi dei testi. In sede di conclusione tenterò d'illustrare per quali motivi la cultura filosofica del nostro secolo si è per molto tempo orientata lungo direttrici differenti da quella duhemiana ed ha conseguentemente trascurato lo studio delle opere di Duhem, consentendo così il persistere di una visione assai discutibile di esse.

L'origine di quella visione erronea, a mio parere, risiede nella confusione, nel livellamento, operato all'inizio del secolo tra il pensiero di Duhem e, volta per volta, quello di altre correnti culturali che andavano per la maggiore, come il machismo, il convenzionalismo antiintellettualista, il neotomismo. Una volta posto Duhem come uno dei tanti rappresentanti di questa o quella corrente, divenne facile proiettare su Duhem caratteristiche che non erano sue. Invece Duhem fu pensatore certamente originale che non s'identificò affatto con alcun « ismo ». Delle confusioni operate ci occuperemo nelle conclusioni; ora, partendo dai risultati ottenuti nelle pagine che precedono, vorrei mostrare in che cosa consistesse l'originalità di Duhem. Costui era per carattere sicuramente portato a distinguersi a tutti i costi, ma ciò non toglie che egli realmente abbia assunto una posizione personale su molti punti di fondamentale importanza.

1. - DUHEM E MACH.

Il primo confronto, direi obbligato, quello che meglio di ogni altro mette in luce la personalissima posizione assunta da Duhem, è senza dubbio quello con Mach, non solo perché quest'ultimo fu la personalità più influente nel campo della filosofia della scienza di tutto il periodo in cui Duhem operò, ma anche perché spessissimo il pensiero duhemiano è considerato una semplice variante del machismo. Sicuramente tra questi due grandi personaggi vi furono numerosi e importanti punti di contatto: entrambi combatterono il meccanicismo, si opposero ad una concezione esplicativa delle teorie scientifiche nel nome di una visione classificatoria di esse, integrarono le analisi epistemologiche con l'indagine storiografica, esaltarono il ruolo decisivo dell'esperienza. Tuttavia i modi in cui ognuno affrontò questi problemi e li risolse manifestano differenze profonde. Differenti furono gli ambienti in cui i due pensatori si formarono e si mossero e differenti furono le motivazioni e gli esiti delle loro ricerche.

Innanzitutto vi è da rilevare che mentre l'ambiente scientifico francese era dominato dal punto di vista filosofico dal positivismo antimodellista, quello tedesco fu influenzato prevalentemente da un kantismo di ritorno, disposto a concedere grande fiducia ai modelli meccanici quali strumenti di conoscenza, che trovava il suo esponente più prestigioso in Helmholtz¹. Solo tenendo ben presente questa considerazione si possono comprendere i due obiettivi di fondo della pluridecennale battaglia di Mach², la lotta contro una visione razionalista della meccanica che concepiva i principi di questa scienza quali verità a priori e la lotta contro l'ontologizzazione dei modelli meccanici, la fiducia di ritrovare in essi una genuina spiegazione della struttura del reale. Entrambi questi obiettivi avevano invece poca rilevanza agli occhi di un francese di fine secolo.

¹ Per un quadro generale sulla filosofia ottocentesca legata a problematiche scientifiche cfr. Cassirer 1968, IV; Diemer, 1968; Geymonat, 1970-76, V, cap. 16. Studi specifici sono segnalati più avanti.

² Mach è personaggio studiatissimo; ci limitiamo a segnalare alcuni scritti recenti: Brush, 1968; Capek, 1969; Hiebert, 1968, 1970 a, 1970 b, 1974, 1976; Bradley, 1971; Blackmore, 1972, 1978; Costa de Beauregard, 1974; Swoboda, 1974; D'Elia, 1974, 1975; Heller, 1975; Laudan, 1976; Zahar, 1977; Thiele, 1978; Hönl, 1979.

Dal punto di vista scientifico, il tratto forse piú distintivo della cultura di lingua tedesca³, e senz'altro quello che piú interessò e orientò la ricerca machiana, fu rappresentato dal filone della psicofisica. La scienza tedesca, dopo il periodo di smarrimento attraversato all'inizio dell'Ottocento con la *Naturphilosophie*⁴ si pose all'avanguardia del pensiero scientifico europeo, in primo luogo nel campo della fisiologia. Già la teoria cellulare di Schleiden, Schwann e Virchow portò lo studio dell'organismo su di un terreno eminentemente sperimentale e in una direzione il piú possibile aderente all'esperienza si orientò anche lo studio delle sensazioni. Nella prima metà del secolo Joahannes Müller aveva già prodotto importanti lavori su questo argomento. La sua opera aveva elevato l'analisi delle sensazioni ad un ruolo di primaria importanza nelle ricerche filosofiche: se l'organo fondamentale della conoscenza scientifica era da considerarsi la sensazione (convinzione, questa, fondamentale per tutta la filosofia della natura romantica), allora l'indagine sull'attività sensoriale dell'uomo e degli animali poteva risultare un mezzo diretto di indagine metodologica, un mezzo per cogliere in concreto e non astrattamente la procedura fondamentale di conoscenza della natura. Questa fede nella gravidanza filosofica del proprio lavoro di ricerca fu presente in tutti coloro che, dopo Müller, si occuparono di fisiologia dei sensi con una metodologia ben piú ancorata al terreno sperimentale rispetto a quella del loro maestro: Helmholtz, Fechner, Du-Bois Reymond, Ludwig furono i maggiori artefici di un indirizzo di ricerca che riavvicinò, dopo i famosi studi di Galvani del secolo precedente, la fisiologia del sistema nervoso ai metodi e ai concetti della fisica. Helmholtz⁵, grande fisico ma anche grandissimo fisiologo, è il simbolo di questa riunificazione, ma vi fu tutta una corrente di ricercatori che si pose, sul terreno sperimentale e teorico, il problema di una scienza unificata nella quale fisica e psicologia si presentassero come una unità organica⁶. In questa corrente si

³ Sulla scienza tedesca del periodo in cui visse e operò Mach cfr., tra le opere piú recenti: Bush, 1959; Aurich, 1964; Plessner, 1966; Ringer, 1969; Pfetsch, 1970; Turner, 1971; Mendelssohn, 1973; Farrar, 1976; Mc Cormmach, 1976, 1982; Pyenson - Skopp, 1977; Caneva, 1978; Glas, 1978; Pyenson, 1982.

⁴ Sulla filosofia della natura tedesca cfr. Hennemann, 1959; Snelders, 1970; Hegge, 1972; Gower, 1973; Knight, 1976; Vasco, 1978; Wells, 1978; Löw, 1980.

⁵ Su Helmholtz cfr. Koenigsberger, 1902-3; Cappelletti, 1967; Woodruff, 1968; Buchheim, 1971; D'Agostino, 1971; Clark, 1976 b; Turner, 1977 a, 1977 b; Richards, 1977; Elkana, 1977; Cohen - Elkana, 1977; Bierhalter, 1981.

⁶ Sulla psicofisica tedesca cfr. Rothsuh, 1953; Culotta, 1974; Gregory, 1977; Mitchell, 1978.

inserì, con pieno merito, Mach, che in questo settore diede i propri contributi scientifici piú rilevanti e che per tutta la vita si pose come problema centrale quello della elaborazione di una nuova teoria della conoscenza che permettesse di compiere quella riunificazione.

Non pretendo il nome di filosofo. Desidero solo adottare in fisica un punto di vista che non si sia costretti ad abbandonare subito quando si getti lo sguardo nell'ambito di un'altra scienza, poiché in ultima analisi tutte le scienze devono formare un tutto unico⁷.

La fisica meccanicista, come denunciò con grande risonanza Du Bois-Reymond nel suo celebre discorso del 1872 *Ueber die Grenzen der Naturerkenntnis*, era incapace di offrire quel « punto di vista » unitario. Questo sembrò invece a Mach essere offerto dalla psicofisica elaborata da Fechner. Nei suoi *Elemente der Psychophysik* Fechner⁸ presentò una concezione di tipo monistico dei rapporti tra fisica e psicologia: non esiste che un'unica realtà, ed ogni processo naturale può essere fisico solamente in quanto osservato esternamente nella sua azione oggettiva, mentre risulta in sé psichico se considerato dal suo interno, soggettivamente. La vita dell'anima non può considerarsi come la trasformazione di un processo cerebrale in un fenomeno psichico, ma come il lato interno di tale processo che decorre parallelo ad esso secondo un preciso meccanismo fisico-chimico.

Questo monismo ebbe una grande influenza su Mach. Per Mach l'ammissione di un unico tipo di realtà, che non fosse a priori né fisica (posizione tipica del materialismo) né psichica (idealismo) era il punto di partenza necessario alla riunificazione di fisica e psicologia. Tutta la sua battaglia filosofica fu diretta contro ogni dualismo riconducibile a quello esistente tra fisica e psicologia: le opposizioni tradizionali corpo-mente, materia-pensiero, soggetto-oggetto sono un residuo della concezione meccanicista, vanno abbandonate per far posto ad un punto di vista nuovo che permetta di cogliere i termini delle coppie quali aspetti diversi di un'unica realtà. La realtà nei suoi aspetti molteplici va ricostruita sulla base di un unico tipo di elementi costituenti, né fisici né psichici in modo unilaterale. La scienza si riduce così ad un insieme di relazioni funzionali tra questi elementi.

La psicofisica incontrò un valido punto di appoggio nella teoria del-

⁷ Mach, 1975, p. 58.

⁸ Su Fechner cfr. Lasswitz, 1910; Hermann, 1926.

la evoluzione. La teoria di Darwin trovò in Germania, a differenza di quanto avvenne in Francia⁹, un terreno assai fertile e Mach, pur senza occuparsene approfonditamente, vide in essa una via per uscire da alcune difficoltà incontrate dall'analisi delle sensazioni e fin dal 1866 egli avanzò la proposta di applicare la teoria dell'evoluzione biologica alla psicofisica. Le ricerche già condotte avevano posto in luce l'esistenza di sensazioni apparentemente innate, ma di struttura assai complessa, quali la sensazione spaziale. Sulla natura di tali sensazioni si ebbe, negli anni sessanta, una vivace polemica tra empiristi, i quali ritenevano che la sensazione di spazio venisse costituita dall'attività ordinatrice della mente che interviene su una massa di singole osservazioni, ed innatisti, secondo cui la percezione spaziale è una funzione preformata nelle sue grandi linee, è una risposta innata dell'organismo a certi stimoli. Mach, in accordo con la seconda posizione, credette che questa capacità innata di rispondere agli stimoli esterni potesse essere spiegata quale eredità biologica che il singolo ha acquisito grazie alla evoluzione di tutti i suoi progenitori. Ciò ebbe una funzione decisiva nella costruzione di una teoria della conoscenza di marcata derivazione biologica: tutto il processo di conoscenza, di cui la sensazione è solo il primo livello, appare non più opera del singolo, bensì frutto di tutta la specie. La teoria di Darwin, integrata con ricerche specifiche, è per Mach superiore ad ogni altra teoria sulle sensazioni. Per essa ogni processo vitale, compresa l'attività conoscitiva, è un adattamento, una risposta agli stimoli dell'ambiente esterno. La realtà non è riconosciuta contemplativamente dall'uomo, ma vissuta, modificata, costruita da esso. Già la semplice sensazione è, in primo luogo, un atto indirizzato alla difesa, e in questo vi è continuità tra uomo e animali: entrambi reagiscono a certi stimoli esterni per difendersi. Le condizioni di vita dell'uomo sono però più complicate rispetto a quelle degli animali e le sue risposte si adeguano a questa complicazione dando luogo ad attività conoscitive più complesse. La stessa scienza, la più alta forma di conoscenza, ha un fine « esterno » pratico, utilitaristico, costituito dalla conservazione della specie¹⁰.

⁹ Cfr. Glick, 1975. In particolare, per le difficoltà incontrate dal darwinismo in Francia, cfr. Conry, 1974; Paul, 1979.

¹⁰ L'influenza della teoria dell'evoluzione sulla teoria della conoscenza di Mach si fece particolarmente marcata in *Erkenntnis und Irrtum* più che nelle sue opere precedenti. Esula comunque dalle possibilità dello studio qui compiuto una analisi anche sommaria dell'evoluzione del pensiero machiano. La ricostruzione che

Ora, la serie di temi e di problematiche che ho sommariamente esposto e che furono assolutamente centrali in Mach, furono invece completamente assenti in Duhem che mai, neppure per brevi accenni, si occupò di tematiche psicologiche o biologiche. Questa potrebbe essere tutto sommato una considerazione poco significativa dal nostro punto di vista, se queste differenze di interessi presenti nei due autori, riflessi delle differenze presenti negli ambienti in cui essi si formarono, non avessero prodotto anche relevantissime differenze nelle rispettive concezioni epistemologiche.

L'importanza dell'approccio psicofisico e dell'evoluzionismo condusse Mach a tentare di dare delle risposte ai problemi fondamentali dell'epistemologia, impiegando con ampiezza l'analisi psicologica e suggestioni evoluzioniste, laddove invece Duhem si atteneva rigorosamente entro i confini che all'indagine epistemologica pone la pratica concreta degli scienziati così come essa è ricostruibile dalla documentazione esistente.

Si consideri, quale esempio importantissimo, il problema della natura dei concetti scientifici. Molto sinteticamente la posizione di Mach può essere schematizzata nel seguente modo.

Per Mach l'esperienza, il complesso di elementi sensoriali che la compongono, è un dato certo, indubitabile. Non ha neppure senso porsi la domanda se i nostri sensi ci ingannino oppure no: le sensazioni sono, esistono, ecco tutto. Ponendo l'esperienza alla base della scienza, Mach intende trovare una fondazione sicura, scevra da costruzioni artificiali e illusorie, libera da ogni soggettivismo. D'altra parte, l'esperienza non è ancora la teoria; esse vanno tenute ben distinte perché tra l'una e l'altra è interposta tutta una serie di gradini intermedi.

Il primo passo che si compie per distaccarsi dall'esperienza inanalizzata è l'astrazione. Dal complesso (di elementi) che ci si è presentato in un tutto unico, noi tendiamo a cogliere, a mettere in evidenza alcuni degli elementi, astraendo da tutti gli altri. L'astrazione è la tappa primaria del procedere scientifico che trova i caratteri, i nessi tra elementi importanti, di cui occorre tenere conto. Dapprima l'astrazione avviene inconsapevolmente, senza intervento della nostra volontà. Già i nostri sensi hanno la capacità innata di cogliere certi complessi di elementi, grazie ad opportune strutture fisiologiche. Altrettanto involonta-

qui viene tentata è inevitabilmente astratta e, nel suo schematismo, un po' idealizzata.

riamente noi cogliamo quelle relazioni tra elementi che sono particolarmente utili alla nostra conservazione. In questo non vi è alcuna differenza fra noi e gli animali: un uccello che si cibi di bacche rosse e zuccherate « astrarrà » dal complesso di elementi che compongono la sua esperienza il rosso e il dolce, trascurando, sotto gli stimoli della fame, tutti gli altri. Astraendo gli elementi piú utili si colgono, contemporaneamente, anche i piú costanti, perché può risultare utile solo ciò che si ripete frequentemente. L'utilità discende dalla verità.

Attraverso l'astrazione inconsapevole, l'uomo si forma le prime conoscenze istintive. Queste vengono prima di ogni esperimento scientifico, costituiscono la vera base, la conoscenza certa su cui poggiano tutte le dimostrazioni della scienza. La mancanza di ogni volontà da parte nostra nel processo della loro formazione conferisce a tali conoscenze un carattere pienamente oggettivo. Il processo di astrazione, iniziatosi spontaneamente, viene a poco a poco assunto coscientemente come metodo di indagine della realtà. Il culmine del processo di astrazione è il concetto che si differenzia dalle astrazioni piú elementari solo per il grado di complessità, non per la qualità. Tra concetti e astrazioni istintive vi è una continuità che non viene spezzata neppure per i piú importanti concetti scientifici. Mach in *Erkenntniss und Irrtum* cercò di tener conto della piú recente critica convenzionalista ammettendo che « È una scienza potenziale che è contenuta nel concetto »¹¹, ma con questo intese sottolineare che i concetti piú astratti enunciano pur sempre una serie di azioni e reazioni, sono un simbolo che richiama tutta una serie di operazioni strumentali e intellettuali, piú complessa, ma di natura non differente da quella che fa da sottofondo alla astrazione « rosso, dolce » compiuta da un uccello che cerchi il proprio cibo preferito.

Se si ripensa alle pagine scritte da Duhem circa la natura dei concetti scientifici, non si può fare a meno di notare due grandi differenze rispetto all'approccio machiano: una, già anticipata, di metodo, l'altra di contenuto.

Le conclusioni cui Mach giunge sono ottenute con una analisi

¹¹ Mach, 1922, p. 121. Mentre questa tesi era stata ampiamente argomentata da Duhem, Mach sembra invece averla tratta da Stricker, 1883.

psicologica che solo raramente prende in considerazione concetti propriamente scientifici e nella stragrande maggioranza del tempo si concentra sulle modalità di formazione dei concetti propri delle più elementari forme di conoscenza. Non che nell'opera di Mach manchino le analisi epistemologiche: basterebbe ricordare, a questo proposito, le pagine giustamente celeberrime da lui dedicate alla critica della meccanica newtoniana per convincersene. Ma il fatto è che queste analisi, più che essere impiegate per comprendere la natura della conoscenza scientifica, più che essere applicate a questioni gnoseologiche, sono rivolte a criticare proposizioni o insiemi di proposizioni dal punto di vista di una *posizione gnoseologica* già fondata per altra via. Mentre Duhem cerca di costruire una visione della natura della scienza attraverso l'analisi dell'operare concreto degli scienziati, cioè attraverso l'indagine epistemologica, Mach chiede *alla psicologia* di rispondere alla domanda: « che cosa è la conoscenza scientifica? », ed impiega la risposta ottenuta per vagliare singole produzioni teoriche dal punto di vista epistemologico.

L'ampio impiego di strumenti offerti dalla psicologia nella determinazione della natura dei concetti scientifici, fu uno degli aspetti più caratteristici della riflessione critica sulle scienze condotta a cavallo tra Ottocento e Novecento. Questo era il messaggio filosofico centrale lanciato dalla psicofisica tedesca, ma fu massicciamente presente in tutti i più importanti pensatori del periodo. Se si prendono in considerazione i più rappresentativi scritti di quegli autori, dalla *Grammar of science* di Karl Pearson a *Concepts and theories of modern physics* di Stallo, da *Vorlesungen über Naturphilosophie* di Ostwald, a *The Common sense of exact sciences* di Clifford, alle analisi sulla natura dello spazio di Poincaré, per non parlare di tutta l'epistemologia di derivazione bergsoniana¹² che programmaticamente individuava nella psicologia lo strumento fondamentale di indagine filosofica, ovunque si nota un sistematico uso di considerazioni psicologiche per determinare la natura dei concetti scientifici.

Credere che la psicologia, supportata dalla teoria dell'evoluzione, fosse in grado di risolvere « scientificamente » il problema della cono-

¹² Sull'epistemologia ispirata a Bergson, oltre ai testi di cui si tratterà nel prossimo paragrafo, cfr. Coignet, 1911. Per testi critici cfr. Thibaudet, 1923; Uta, 1928; Gunter, 1978.

scienza fu il « peccato » di tutta un'epoca e Duhem fu uno dei pochissimi a rimanerne immune, e ciò costituisce ai nostri occhi, dopo la ribellione antipsicologista del neopositivismo, un merito indubbio.

L'attribuzione alla psicologia piuttosto che all'epistemologia del compito di determinare la natura dei concetti scientifici conduce Mach, inevitabilmente, ma anche volutamente, ad un esito assai lontano da Duhem circa quella natura. L'indagine psicologica sopra schizzata porta infatti a concludere che tra i concetti scientifici piú astratti e le operazioni « mentali » piú elementari compiute financo dagli animali non vi è una differenza radicale, sempre si tratta di risposte di adattamento all'ambiente, fra uomo e natura vi è una continuità. Questa conclusione, che agli occhi di Mach era un grande risultato della concezione evoluzionista applicata ai problemi della conoscenza non pone alcuna distinzione netta tra concetti scientifici e concetti del senso comune, quindi tra esperienza scientifica ed esperienza comune o addirittura tra la prima e le reazioni istintive degli animali. Anzi, proprio a questo legame ininterrotto tra scienza ed esperienze elementari Mach affidava il compito di garantire sicurezza alle teorie piú astratte. Anche per questo aspetto Mach fece scuola e moltissimi, da Le Dantec a Pearson¹³, esposero a loro volta una concezione evoluzionista della formazione dei concetti nella quale ai concetti propriamente scientifici non era riservato alcun trattamento particolare.

Duhem invece si distinse nel panorama europeo proprio per la sua insistenza sulla differenza tra concetti scientifici e concetti non scientifici (quindi, a maggior ragione, reazioni animali), sul carattere « simbolico » (cioè teorico) non semplicemente « astratto » dei primi. È vero che anche per Duhem esiste un legame tra conoscenza scientifica e conoscenza comune, ma questo è rintracciabile solo con l'ausilio della storia, non con la psicologia, perché da tempo ormai le scienze mature si sono allontanate irrimediabilmente dalla conoscenza volgare. Se fossero semplicemente astrazioni compiute a partire dall'esperienza, i concetti scientifici potrebbero effettivamente venir compresi nella loro genesi mediante l'analisi psicologica delle modalità con cui si formano le nozioni piú semplici, ma poiché i concetti scientifici sono tali in quanto fanno parte di (e sono definiti da)

¹³ Le Dantec, 1904; Pearson, 1892.

una costellazione di teorie, sono prodotti di una storia secolare, quel tipo di analisi che prescinde dalle teorie è destinato a rivelarsi impotente.

Questa differente concezione dei concetti scientifici si riverbera naturalmente sulla concezione che i due autori hanno circa il modo in cui noi produciamo quei concetti, cioè circa quello che è il metodo scientifico.

Per Mach il metodo fondamentale dello scienziato è fenomenico-induttivo. Sicuramente l'induttivismo di Mach è assai piú avvertito di quello del piú dogmatico positivismo, e sempre preoccupato di distinguere nettamente tra ciò che fa parte della teoria e ciò che invece è esperienza. Così, ad esempio, a proposito delle leggi naturali, Mach ha con estrema chiarezza fatto notare che la ripetizione costante di eventi non è caratteristica dell'esperienza, ma risiede unicamente nello schema astratto con cui noi riproduciamo questa esperienza, in sé perennemente mutevole, pur presentando delle ripetizioni dotate di una certa stabilità, di una costanza relativa, approssimata. Le leggi in natura non esistono; qui esistono solo casi particolari e le leggi sono delle regole di costruzione per asserti singolari, per la descrizione di casi singoli. Mach sottolineò anche (malgrado certi giudizi negativi come quello di Cassirer, secondo il quale « i concetti fondamentali della fisica sono, per Mach, il prodotto o l'impronta passiva che l'azione degli oggetti lascia sugli organi dei nostri sensi »)¹⁴ che per la costruzione delle leggi, così come per la semplice sperimentazione, l'impiego di ipotesi è indispensabile. Per Mach la tendenza a formulare ipotesi, a completare con il pensiero i fatti osservati, è una tendenza innata, una forza estranea che ci governa e ogni nostra nuova proposizione scientifica nasce come ipotesi. Mach va anche oltre queste affermazioni, peraltro non particolarmente originali, sostenendo che la verifica di un'ipotesi, la sua accettazione quale legge scientifica, dipende da fatti storici, è in certa misura convenzionale: dopo svariati successi sperimentali si decide di accettarla come vera. Alcuni passi di Mach sono assai chiari a questo proposito:

Fino a che punto la prova di un fatto può soddisfare lo scienziato? Questo dipende dal punto di vista in cui egli si pone, dall'insieme delle idee e dal livello scientifico della sua epoca¹⁵. L'osservazione porta in un primo momento solo alla congettura di leggi che, formulate con particolare semplicità e precisione, sono assunte come ipotesi per controllare se il comportamento dei corpi è logica-

¹⁴ Cassirer, 1968, IV, p. 170.

¹⁵ Mach, 1922, p. 310.

mente deducibile da esse. Quando poi queste ipotesi sono verificate in molti casi semplici e complicati, si conviene di accettarle come leggi¹⁶.

Certamente brani come questi (che pure non abbondano nei testi machiani) vanno tenuti presenti per non operare un appiattimento del fenomenismo di Mach, ma non possono far dimenticare che Mach fa un passo ulteriore, fortemente criticabile: una volta accettata, una ipotesi è da considerarsi vera. L'ipotesi è concepita come strumento che guida l'osservazione per mettere in luce relazioni tra elementi cui non si giungerebbe con l'osservazione passiva; una volta scoperte quelle, però, una volta accettata l'ipotesi, le relazioni sono da considerarsi oggettive, indubitabili. La scienza scopre dei nessi realmente esistenti, non inventa niente, anzi l'invenzione coincide con l'osservazione perfetta:

L'espressione di «riconoscimento *ex novo* del nesso esistente tra diverse relazioni» dà una definizione abbastanza lata per caratterizzare tutte le invenzioni e le scoperte in qualsiasi campo... L'opera e il merito dello scopritore consistono nella acuta attenzione che fino nelle minime tracce percepisce quello che vi è di straordinario nel fenomeno e nelle circostanze determinanti, e riconosce la via per la quale si può pervenire alla perfetta osservazione¹⁷.

L'ipotesi è dunque vista come uno strumento di lavoro, una scala per salire al mondo dei fatti, ma una volta raggiunto questo mondo la scala si può gettare. È certo che per Mach l'esperienza che interessa allo scienziato è cosa ben differente dalla osservazione passiva; è frutto di un lungo e a volte faticoso lavoro intellettuale che produce l'esperienza mentale da tradurre in pratica e mette a punto i nessi per compiere una tale traduzione. Tuttavia, una volta compiuta un'osservazione, questa è da considerarsi certa e intersoggettiva. La scienza può giungere a proposizioni certe, salde, che descrivono l'esperienza in modo oggettivo, indipendente da ogni teoria.

L'esistenza di proposizioni sicure in quanto esprimenti relazioni funzionali tra elementi d'esperienza è il dato più caratteristico della posizione epistemologica machiana, quella che giustifica, nonostante e magari contro la sfumata prudenza di Mach, tutte le interpretazioni fenomeniste e induttiviste che ne sono state date. In questo Mach, pur ponendo

¹⁶ Mach, 1968, p. 265 (spaz. mia).

¹⁷ Mach, 1900, pp. 215-6.

dosi ad un livello di finezza d'analisi incomparabilmente superiore, non si discostava dalla tradizione positivista, che sulla nozione di « fatto » aveva incentrato tutta la propria epistemologia.

Orbene, nessuno piú di Duhem si sforzò di combattere l'idea che potessero esistere proposizioni scientifiche non dipendenti da teorie scientifiche. A Duhem il fenomenismo, inteso in senso proprio, e l'induttivismo, entrambe caratterizzazioni consone a Mach, erano preclusi proprio dalla negazione da lui compiuta della esistenza di una base empirica certa in quanto separata dalla teoria.

Una volta ammessa l'esistenza di una « base empirica » per la scienza, era naturale per Mach ricercare la saldezza dell'intero edificio scientifico attraverso una visione induttiva della scienza che interpreta i principi, anche i piú astratti, come proposizioni di natura epistemologica qualitativamente non differente dalle piú semplici leggi empiriche. Anzi, proprio su questo punto Mach condusse una delle sue piú impegnate battaglie contro il meccanicismo: egli respinse risolutamente ogni distinzione tra leggi di natura « profonde », « principi naturali » che descrivono il nucleo sostanziale della realtà, e leggi fenomeniche, sostenendo che anche i « principi » non sono niente altro che leggi fenomeniche, « fatti », che acquistano convenzionalmente il ruolo di principi solo entro una teoria. Per Mach una teoria non ha alcuna funzione dimostrativa, non serve cioè a garantire le singole leggi, ma ha un'esistenza solo in funzione della nostra comodità di ricostruzione della totalità dei fatti. Non esistono verità piú sicure di altre, che possano costituire un punto di partenza per la dimostrazione. Ogni legge si fonda sull'esperienza e tutte le leggi sono equivalenti quanto a profondità. La deduzione, cioè la riproduzione nella mente dei fenomeni per mezzo della loro scomposizione in elementi piú semplici, serve a mettere in luce dipendenze reciproche, non porta ad alcun nuovo giudizio né serve a fondare una conoscenza per mezzo di un'altra. La teoria ha il compito di ordinare le leggi trovate in modo da poter ricostruire ogni fatto di cui la teoria si vuole occupare nel modo piú economico possibile; unico suo scopo è l'economia di pensiero.

Per il suo carattere economico la teoria ha una grande libertà di struttura, può liberamente porre a proprio fondamento quei fatti particolari che risultano piú utili ai fini della ricostruzione della totalità dei fatti. Alcuni fatti sono dunque posti come principi entro una teoria proprio per la loro particolare fecondità. I principi non colgono una realtà piú profonda delle leggi particolari, sono soltanto utili schemi

risolutivi per problemi specifici. L'ordine logico con cui sono disposti principi e teoremi non va confuso con un ordine ontologico, naturale.

Chi ricordi la posizione duhemiana circa la struttura delle teorie non potrà fare a meno di rilevare un'importantissima differenza: mentre per Duhem i principi di una teoria sono libere costruzioni prive di significato empirico diretto, per Mach essi sono leggi empiriche come tutte le altre; mentre per Duhem tra principi e leggi vi è una sostanziale differenza epistemologica, per Mach l'unica differenza consiste nella posizione che gli uni e le altre occupano per nostra scelta nell'ordinamento della teoria.

Ciò conduce ad una divaricazione netta tra i due pensatori proprio sull'aspetto piú caratteristico, significativo e moderno della epistemologia di Duhem, cioè la natura unitaria delle teorie scientifiche. Per Duhem i principi sono proposizioni che ricevono un significato solo grazie all'inserimento entro una struttura deduttiva, per Mach essi sono proposizioni dotate di un pieno significato anche se considerate isolatamente; per l'uno la teoria non si può spezzare perché certe sue parti non possono avere « vita autonoma » e, cosa ancora piú importante, sono proprio queste parti che conferiscono un significato a proposizioni apparentemente « empiriche »; per l'altro la costruzione di una teoria, la fase di « sistematizzazione », è un momento successivo, aggiuntivo alla ricerca empirica, cui spetta il compito di dare forma ai pezzi con i quali verrà costruita la teoria, per esclusive ragioni di economia, senza che nulla venga a mutare dal punto di vista epistemologico.

Se la critica alle teorie di Duhem mirava a rivendicare la liceità, anzi l'indispensabilità della presenza entro le teorie di proposizioni prive di significato empirico diretto, e proprio nella presenza di proposizioni di questo tipo ravvisava l'aspetto piú caratteristico delle teorie, Mach si sforzò di eliminare dalla scienza, con l'arma del fenomenismo, quelle proposizioni che non fossero o definizioni o relazioni tra elementi dell'esperienza, relegandole nel campo della metafisica. Ad esempio, Mach respinse perché non empirico il concetto di spazio assoluto nella sua celebre critica a Newton, ma Duhem, proprio in quanto era disposto ad ammettere senza problemi concetti non empirici, sostenne sempre l'utilità di impiegare (ovviamente intendendolo come termine teorico, « simbolico », senza attribuirgli

alcuna esistenza obiettiva) il concetto di triedro di riferimento assoluto¹⁸.

In definitiva, mentre Mach alla fine del secolo era il piú famoso e influente sostenitore di una concezione fenomenista e induttivista della scienza, Duhem si batteva per una visione ipotetico-deduttiva, con marcate note polemiche antiinduttiviste.

La sostanziale differenza tra le due posizioni epistemologiche fu riconosciuta implicitamente anche da Mach che nella prefazione alla seconda edizione di *Erkenntnis und Irrtum* (1906) scrisse che « mentre nel presente libro io sottolineo soprattutto il legame tra il modo di pensare comune e quello della scienza, Duhem mette particolarmente in rilievo le differenze tra osservazione e il pensiero del senso comune e il pensiero e le osservazioni critiche del fisico »¹⁹.

Per parte sua Duhem fino al 1903 non citò mai Mach e questo, per un autore che in genere non aveva remore a segnalare le proprie fonti, è un indizio dello scarso peso avuto sulla sua formazione da parte delle opere dell'autore tedesco. E in *Analyse de l'ouvrage de E. Mach*, appunto di quell'anno, il Mach che Duhem presenta è assai singolare: il suo fenomenismo e il suo induttivismo sono scomparsi per essere sostituiti il primo dall'affermazione che « l'oggetto del lavoro scientifico è l'astrazione »²⁰, il secondo dall'asserzione che « I procedimenti inventati non si codificano; l'inventore di una legge si lascerà suggerire l'enunciato di questa tramite le considerazioni piú disparate; l'induzione, la generalizzazione, l'analogia saranno, nella maggior parte dei casi, le sue guide preferite »²¹.

La diversa impostazione epistemologica dei due autori si ripercosse sul loro modo di fare storia delle scienze. Dal punto di vista dell'approfondimento e del rigore documentario, l'opera storica di Mach²²

¹⁸ Cfr., ad esempio, Duhem, 1909, p. 197 e ss.

¹⁹ La citazione è tratta dalla traduzione inglese (Dordrecht, 1976), p. xxxv. Nella prefazione che Mach scrisse alla traduzione tedesca della *Théorie* di Duhem cercò invece di presentarlo come un pensatore del tutto affine al proprio pensiero e il traduttore Friedrich Adler nella sua prefazione tentò con modi assai spicciativi di assimilare Duhem totalmente nel filone machiano.

²⁰ Duhem, 1903 b, p. 263.

²¹ *Ibid.*, p. 265.

²² Mach, 1872, 1921, 1968.

fu di gran lunga inferiore a quella di Duhem. Vi è da dubitare se Mach possa essere considerato uno storico in senso proprio: a lui non interessa scoprire documenti nuovi, ricostruire ambienti, scuole di pensiero, dibattiti, andare alla ricerca di precursori e di collegamenti provabili tra questo e quello scienziato. La sua storia è una galleria di problemi teorici considerati attraverso gli scritti di vari autori, senza però alcuno sforzo per mostrare l'impostazione complessiva dell'uno e dell'altro, né per ricostruire l'evoluzione storica intervenuta tra l'uno e l'altro, passando, con molta disinvoltura e senza mediazione alcuna, da Archimede a Huygens!

Questo impoverimento e appiattimento della storia della scienza è una conseguenza della epistemologia di Mach: la sua storia, infatti, non ha altro intento che quello di confermare il modello epistemologico fenomenista-induttivista machiano che, nella sua scarsezza, esclude riferimenti alla metafisica, alla filosofia, all'influenza delle tradizioni di scuole differenti, agli scontri tra posizioni contrapposte. L'unica cosa che preoccupa Mach è confermare nei singoli « ritratti » che egli va componendo la propria visione epistemologica. A questo scopo egli non esita a compiere clamorose distorsioni. Ad esempio, il Galileo di Mach è un modello di chiarezza e di onestà, perfetto seguace del metodo fenomenico-induttivo, che non concede albergo ad alcun residuo d'aristotelismo né a nessuna oscurità nei propri ragionamenti, neppure quando si tratta di far uso di difficili concetti anticipatori del calcolo infinitesimale. La sua legge della caduta dei gravi è presentata come traduzione in forma concettuale di conoscenze istintive²³ (mentre Duhem si affannò a sottolineare l'enorme sforzo richiesto a Galileo per staccarsi dai dettami delle scienze più comuni) e, addirittura, poiché nella propria analisi della meccanica newtoniana Mach aveva sostenuto che, dal punto di vista logico, il principio d'inerzia è un caso particolare del secondo principio della dinamica, anche nel Galileo di Mach il principio d'inerzia diviene conseguenza del secondo principio e considerato una legge che non riveste « un ruolo speciale »²⁴, facendo così sorgere nel lettore perplessità imbarazzanti circa l'uso fatto da Galileo del principio d'inerzia nella battaglia contro il copernicanesimo o circa l'oggetto reale del *Dialogo sui massimi sistemi*.

Anche in Duhem, come si è visto nel capitolo precedente, la storia

²³ Cfr. Mach, 1968, p. 161 e ss.

²⁴ Mach, 1968, p. 163.

era subordinata all'epistemologia, ma proprio perché Duhem aveva elaborato un modello epistemologico assai ricco poté produrre una storia assai piú varia, mosca e interessante di quella machiana e immagini un po' meno distorte e caricaturali degli scienziati del passato.

Infine, una sostanziale differenza tra Mach e Duhem può cogliersi nella loro piú generale posizione filosofica che sottende le rispettive epistemologie.

È ben noto che, malgrado le sue reiterate dichiarazioni di non voler essere filosofo, Mach fu all'origine di una delle piú vigorose, proteiformi e vistose scuole filosofiche di fine secolo, il « machismo », in cui trovarono il modo di convergere filoni disparati, dall'empirio-criticismo al monismo, da motivi pragmatisti a un rinnovato sensismo, a echi del buddismo²⁵. A tutte queste correnti la teoria degli elementi di Mach offriva un legame piú o meno solido, piú o meno reale, con le piú moderne riflessioni scientifiche ed epistemologiche. Tutti questi punti di vista trovarono in Mach, al di là del preteso « neutralismo » di quest'ultimo, una concezione al fondo soggettiva della conoscenza intesa come disposizione ordinata a fini pragmatici di elementi fenomenici.

Abbiamo visto nel capitolo terzo come Duhem abbia polemizzato, in maniera affatto occasionale, bensí precisa e ripetuta, contro l'idea di Mach che le teorie scientifiche fossero puri strumenti di classificazione per riaffermare un raffinato realismo. Egli condannò anche la concezione filosofica soggettivista che stava al fondo dell'epistemologia di Mach: per Duhem anche Mach finisce nel vedere nella natura un « sistema di raggruppamento di spiriti... subisce dunque, come tanti altri, la spinta di quella grande corrente che fa deviare il pensiero scientifico verso delle dottrine che si credevano ormai abbandonate senza ritorno »²⁶.

Sicuramente entrambi i pensatori si trovarono schierati dalla stessa parte nella grande battaglia contro il meccanicismo e contro il positivismo acritico, ma ciò non è sicuramente sufficiente per identificare l'uno con l'altro: in fondo, anche Bergson, Husserl, James e Croce combatterono meccanicismo e positivismo, ma probabilmente nessuno oserebbe classificare Duhem come un seguace di Croce! Se punti in comune vi furono, vi furono anche molte divergenze: Mach e Duhem

²⁵ Per questi aspetti cfr. Blackmore, 1972.

²⁶ Duhem, 1903 b, p. 282.

rappresentarono i due piú sistemati e penetranti critici delle scienze empiriche di fine secolo, la fama del primo fu nell'immediato enormemente superiore a quella del secondo e il machismo fagocitò anche la personalità di Duhem, ma noi oggi riteniamo che quest'ultimo abbia espresso visioni ben piú durature e siamo in grado di meglio operare tutte le dovute distinzioni.

Tanto piú che una chiara distinzione tra Mach e Duhem getta nuova luce sul grande problema storiografico (ma anche filosofico) della crisi del meccanicismo ottocentesco.

Il grande schema storiografico solitamente usato interpreta la crisi del meccanicismo tramite l'opposizione *ontologismo-fenomenismo*. Di contro ad una concezione classica della scienza che reifica, obiettivizza i concetti teorici, sarebbe sorto un movimento di critica in nome dell'esperienza che denuncia la confusione fatta dai meccanicisti tra livello teorico e livello della realtà e interpreta le teorie come strumenti di organizzazione dell'esperienza prive di portata ontologica. Questa è una linea interpretativa che risente da un lato di una caratterizzazione troppo angusta e restrittiva di quella che fu la fisica classica e che, in particolare, tende a ridurre la fisica laplaciana a un modellismo ontologico e a misconoscere lo specifico carattere assunto dai modellismi della scuola inglese, dall'altro lato ad identificare la critica al meccanicismo con l'opera di Mach.

Nel primo capitolo ho mostrato, per sommi capi, come la storiografia scientifica di questi ultimi anni abbia rinnovato la visione consolidata di quello che fu l'approccio della fisica classica facendo vedere come anche nella scuola laplaciana l'uso dei modelli non andasse disgiunto da una fortissima componente empirica (poi ripresa e esaltata dal positivismo) e da una coscienza della natura sempre problematica e ipotetica di ogni teoria modellista e come nella fisica inglese la nozione di modello perdesse ogni connotato ontologico e finisse per rivestire solo una funzione visualizzante, euristica, per soddisfare l'esigenza di rappresentazione concreta delle formule matematiche.

La critica machiana viene allora inevitabilmente a perdere il proprio valore di generalità e si configura come una critica, pur acutissima e di grande portata culturale, della particolare variante di meccanicismo che fu fiorente nei paesi di lingua tedesca. Le opere di Mach si situano e si comprendono, come si è visto nei capitoli precedenti, solo entro l'ambiente culturale dominato da Du Bois-Reymond e da Helmholtz. In Francia la critica machiana non incontrava avversari contro cui ri-

volgersi perché, in fondo, l'atteggiamento epistemologico di Mach, in particolare la sua tesi sulla natura essenzialmente classificatoria delle teorie e la sua esaltazione del valore fondante dell'esperienza, era comune (come si è visto nel capitolo secondo) a tutto l'ambiente positivista, anche se nessuno studioso francese prima degli anni novanta sostenne quelle tesi con una forza e una penetrazione minimamente paragonabili a quelle machiane. Negli anni che precedettero l'esplosione del dibattito epistemologico in Francia l'idea che le teorie siano strumenti classificatori era considerata il piú tipico tratto dell'età positivista e attribuita addirittura a Du Bois-Reymond e a Renan. Così fece Painlevé, in un discorso particolarmente interessante dal nostro punto di vista perché pronunciato nel 1890 all'università di Lilla e al quale, quindi, con tutta probabilità Duhem doveva essere presente, che così si esprimeva:

Sembra in effetti che il credito della scienza sia in ribasso da qualche anno. Il prestigio che le avevano apportato clamorose scoperte tende a svanire. Dopo aver riposto in essa una fiducia illimitata, ecco che le si nega ogni portata filosofica. Si vorrebbe ridurla ad essere solo una rappresentazione delle cose inesatta e convenzionale, un vasto quadro sinottico di fatti ingegnosamente raggruppati e semplificati per il nostro uso.

Questo « scetticismo » portatore di un « pericoloso scoraggiamento » veniva attribuito alla tematica dell'« inconoscibile », dei « limiti insuperabili della nostra conoscenza », con chiara allusione tanto a Renan quanto al celebre discorso sugli enigmi della natura di Du Bois-Reymond²⁷. Quando la *Mechanik* di Mach fu tradotta in francese, Picard, uno dei piú rappresentativi fisici dell'età positivista, poté lasciar cadere completamente l'enorme carica critica del libro e presentarlo semplicemente come un buon manuale per l'« insegnamento elementare della dinamica »²⁸, malgrado la prima riga del testo machiano affermi che « La presente opera non è un manuale destinato all'insegnamento dei teoremi della meccanica ».

Duhem si formò in una scuola, quella di Sainte Claire-Deville, che accoglieva senza alcun problema la concezione classificatoria delle teorie e, come si vedrà tra poco, egli affrontò seriamente la battaglia contro il legame tra teorie fisiche e metafisica solo in polemica con il neotomismo, entro un contesto culturale, quindi, piú filosofico-religioso

²⁷ Painlevé, 1891.

²⁸ Picard, 1904, p. v.

che scientifico. Nella sua opera epistemologica, invece, la polemica contro la confusione tra livello teorico e livello ontologico, pur presente, riveste una importanza secondaria. Non è criticando il modellismo ontologico che Duhem pensa di opporsi alla fisica inglese meccanicista, perché egli ha riconosciuto chiarissimamente che il modellismo di Kelvin e di Maxwell non era ontologico. L'analisi compiuta della critica di Duhem al meccanicismo dimostra che ben più significativa della tradizionale opposizione tra fenomenismo e ontologismo risulta in questo caso l'opposizione tra astrazione matematica e raffigurazione concreta. Per Duhem la forma specifica assunta dal meccanicismo ottocentesco è ben differente da quella seicentesca, è essenzialmente una forma che usa i modelli per soddisfare il bisogno di visualizzare le equazioni astratte con oggetti tratti dal mondo della esperienza quotidiana, senza attribuire a questi modelli un valore conoscitivo. Anzi l'accusa di fondo fatta da Duhem alla variante inglese del meccanicismo è quella di rinunciare a conoscere, di ridursi così ad uno strumentalismo privo di unitarietà. Tra il meccanicista Maxwell e il meccanicista Laplace, Duhem può dichiararsi erede di quest'ultimo perché nella fisica laplaciana i modelli erano astratti, nulla concedevano ai bisogni di rappresentazione concreta, e svolgevano una funzione di natura astratta, teorica, servivano alla unificazione teorica della fisica matematica.

Tutta l'epistemologia e l'opera scientifica di Duhem sono un elogio della astrazione, del valore primario che nella conoscenza scientifica assumono le simbolizzazioni matematiche più distanti dai fenomeni e prive di traduzioni in termini di sistemi materiali. Ciò che maggiormente caratterizza la posizione epistemologica di Duhem nel panorama dei suoi contemporanei è l'antiinduttivismo, l'esaltazione della funzione scientifica primaria svolta dalle nozioni più astratte, dalle proposizioni non interpretabili empiricamente. È a partire da questo punto di vista che si può comprendere la battaglia antimeccanicista di Duhem: la sua fu una critica ad un approccio che privilegiava l'impiego di rappresentazioni concrete, ma prive di portata ontologica, in difesa del valore dell'astrazione matematica, dei termini teorici non riducibili all'esperienza né suscettibili di visualizzazione. Non sono i fenomeni che vengono opposti all'ontologia, è la teoria astratta che viene sostenuta contro i bisogni della raffigurazione concreta. Solo ad una lettura superficiale Duhem sembra associarsi al grande filone del fenomenismo per predicare l'avvento di una fisica ridotta allo studio dei fenomeni, in realtà egli

si batte per una fisica nella sua sostanza teorica, che parte da concetti non empirici.

2. - DUHEM E IL CONVENZIONALISMO RADICALE.

Una delle confusioni che con maggior facilità possono essere fatte è quella fra Duhem e il convenzionalismo antiintellettualista, rappresentato soprattutto da Le Roy.

Difficile è invece la confusione con Poincaré perché molto lontani furono gli interessi di quest'ultimo da quelli di Duhem: le riflessioni metodologiche di Poincaré vertono soprattutto sulla matematica (e Duhem non scrisse praticamente nulla a questo proposito) e quando si occupano di scienze fisiche lo fanno prendendo in considerazione i principi piú astratti, e trascurando cosí quello che fu l'aspetto piú significativo della riflessione epistemologica duhemiana, cioè la natura della fisica in quanto scienza sperimentale. Duhem sottolineò questa differenza d'interessi nel 1892, rimarcando come la formazione prevalentemente matematica rendesse Poincaré incapace di cogliere la reale natura della scienza sperimentale e paragonandolo, con poca reverenza, a un bramino, che è piú adatto a capire le mediazioni di un metafisico tedesco piuttosto che quelle di un mercante²⁹. Naturalmente Poincaré si occupò di alcuni problemi presenti anche a Duhem, ma le divergenze che si manifestarono fra i due a questo proposito sono state esaminate nei capitoli secondo e terzo e non è il caso di ritornare su di esse.

Diverso è invece il caso di Le Roy che, ben piú di Poincaré, si sforzò di riflettere su tematiche legate alla sperimentazione fisica e che sovente giunse a conclusioni che, apparentemente, possono essere considerate coerenti con talune affermazioni duhemiane.

Edouard Le Roy³⁰ fu il rappresentante piú radicale del convenzionalismo in terra di Francia, colui che piú di ogni altro ha cercato con la propria critica alla conoscenza scientifica di mostrare i limiti della razionalità, per far spazio ad altre forme di conoscenza antiintellettualiste. Lo sbocco ideologico dichiarato del suo lavoro fu un sostegno al modernismo cattolico. In opposizione al tomismo, questo movimento

²⁹ Duhem, 1892 c.

³⁰ SU Le Roy cfr. Olgiati, 1929, gli scritti a lui dedicati nel n. 2 degli « Études philosophiques » del 1955; Jouhaud, 1960; Chaix - Ruy, 1964; Bachelard, 1972 b; Gawryś, 1972.

sostenne che la fede è per definizione irrazionale e che pertanto la religione non ha alcun bisogno dell'aiuto della ragione, perché essa appartiene ad un settore dello spirito umano affatto differente da quello intellettuale. Compito prioritario, per chi voglia sostenere questa posizione, è quello di mostrare che la ragione non è in grado di esaurire la conoscenza della realtà, che essa ha dei limiti al di là dei quali esiste uno spazio per altre forme conoscitive. A questo fine furono funzionalizzati il recupero e l'estremizzazione di alcune tesi epistemologiche operati da Le Roy, il quale in *Science et philosophie* (1899-1900) si propose di mostrare che tutta la scienza è una creazione artificiale, che ha funzioni pratiche ma non conoscitive, che resta alla superficie e non penetra la natura profonda delle cose. Quest'ultimo compito può essere assolto solo dalla filosofia, che tocca il suo vertice nella fede religiosa.

Le Roy inserì le proprie riflessioni epistemologiche nel quadro più generale costituito dal pensiero di Bergson. Da questo derivò la premessa di tutta la propria critica: l'intelletto è identificato con il potere di cristallizzare nel discorso ogni reale vivente, fluido, dinamico e cangiante. Tradurre in forma discorsiva la realtà significa inevitabilmente distorcerla; questo era un punto di partenza che non scaturiva da alcuna analisi epistemologica, ma anzi era il postulato che l'epistemologia doveva assumere e che ancora l'epistemologia doveva confermare.

Già qui vi è una sostanziale differenza rispetto a Duhem: la natura della scienza non scaturisce da un'analisi epistemologica, ma è pre-determinata in forza di un discorso filosofico-psicologico. La risposta all'interrogativo « che cosa è la scienza? » è già data, il lavoro epistemologico è solo chiamato ad arricchirla e a darne conferma più convincente.

La metodologia seguita da Le Roy per sviluppare l'indagine sulla conoscenza scientifica è coerente con il punto di partenza assunto: come in Mach, spetta fundamentalmente alla psicologia (elevata da Bergson a « scienza suprema ») determinare la natura dei concetti scientifici. Come in Mach (ma diversamente da Duhem) si viene, in forza di un'analisi psicologica, a determinare una continuità tra concetti del senso comune e concetti scientifici; ma mentre Mach intendeva i concetti quali astrazioni perfettamente adeguate alla realtà fenomenica da cui sorgevano, Le Roy si sforza di mo-

strare che già i concetti del senso comune sono distorsioni della realtà prodotte artificialmente.

Il primo lavoro della coscienza³¹ è quello di costituire le cose, gli oggetti, cioè formare gli elementi di realtà, utili alla vita pratica, cui attribuire un'esistenza autonoma. All'origine, nella coscienza è presente una continuità mobile, un vortice di immagini che si fondono per gradazioni impercettibili le une nelle altre, è presente la totalità dell'esperienza inanalizzata. Poco a poco le esigenze pratiche ci portano a trascurare le sfumature, le piccole differenze e noi ritagliamo secondo linee chiare e nette la complessità del reale. Quindi già la conoscenza volgare porta le tracce di un intervento elaboratore con il quale noi abbiamo introdotto nella realtà percepita degli accomodamenti e delle semplificazioni, comodi e necessari per l'azione.

In questo suo spezzettare il reale in forme semplificate, facili da maneggiare, il senso comune giunge a conoscere solo la superficie delle cose e si lascia sfuggire la verità che sta nascosta dietro ad esse.

Il senso comune non misconosce completamente l'esigenza di andare oltre la superficie, solamente non è in grado di farlo in quanto sapere incompleto e acritico. Esso si trova combattuto tra due tendenze: occuparsi di ciò che ha interesse pratico, da un lato, e scendere disinteressatamente, dall'altro lato, nella profondità dell'esperienza.

Le dottrine del senso comune escono da un conflitto oscuro tra due intenzioni ugualmente care allo spirito: intenzione di penetrare il reale rispettando la sua originalità profonda, intenzione di ricostruirlo pezzo a pezzo a partire dai soli dati della pura ragione³².

Per superare i limiti della conoscenza comune occorrerà sviluppare queste due tendenze in modo separato: la prima darà origine alla filosofia, la seconda alla scienza. In questo modo alla scienza viene assegnato il compito di purificare, rifondere e riadattare razionalmente le idee chiare e distinte, nozioni periferiche dell'anima; alla filosofia spetta invece la missione ben più importante di « bucare la crosta », sciogliere e vivificare l'apparenza allo scopo di dedurre le verità « degne di dirigere la nostra vita spirituale ».

Con questa procedura la natura della scienza è stata da Le Roy definita per via psicologica, indipendentemente da ogni analisi episte-

³¹ Nelle righe che seguono espongo la linea argomentativa di Le Roy, 1899-1900.

³² *Ibid.*, p. 424.

mologica, con una metodologia, pertanto, assai lontana da quella duhemiana. Inevitabilmente, come già in Mach, la trattazione psicologica non permette di cogliere una sostanziale differenza tra conoscenza volgare e conoscenza scientifica, si viene a stabilire una continuità tra sapere comune e sapere scientifico, in evidente opposizione a quanto Duhem andava affermando circa la radicale disparità esistente tra senso comune, semplicemente « astratto », e sapere scientifico, non solo astratto, ma anche « simbolico », cioè teorico.

Una volta definita in termini generali la scienza per via dell'analisi psicologica, l'epistemologia, che rimane comunque costantemente accompagnata da considerazioni psicologiche, è chiamata ad articolare, confermandola, quella definizione.

Proseguendo la tendenza a veder chiaro e distinto, propria già del senso comune, la scienza viene via via sostituendo le percezioni viventi e mobili con schematizzazioni astratte, che raggiungono la perfetta dominabilità solo grazie ad un artificiale irrigidimento dell'esperienza. È quindi il soggetto che viene ad assumere un ruolo fondamentale nell'elaborazione delle nozioni che stanno alla base della scienza. È la 'libera creatività' della mente che gioca una parte di primo piano « nella determinazione sperimentale della verità ».

È opinione « volgare » e « banale » credere all'identità del reale e del fatto, ritenendo che i fatti preesistano al lavoro del ricercatore, il cui unico scopo sarebbe quello di constatare, scoprire fatti.

Innanzitutto, lo scienziato coglie la realtà attraverso le forme di pensiero elaborate dal senso comune, forme contingenti relative all'azione pratica, che « si trasformano per l'abitudine in schemi deformati che si impiegano inconsciamente »³³.

In secondo luogo, ogni suddivisione della totalità del reale in fatti separati è artificiale (seppur comoda): « Non esistono oggetti isolati, la natura non è una giustapposizione di fatti distinti; tutto è diffuso in tutto... I fatti sono dunque meno c o n s t a t a t i che c o s t i t u i t i : creazioni dell'osservatore che li determina isolandoli, essi rappresentano la nostra opera di divisione piú che il dato puro »³⁴.

In terzo luogo, ogni suddivisione compiuta è sempre fatta in funzione di un certo punto di vista scelto in precedenza. Non esistono fatti

³³ *Ibid.*, p. 516.

³⁴ *Ibid.*, p. 516.

assoluti, definibili intrinsecamente, ogni definizione è sempre relativa: agli obiettivi che ci si propongono.

La conclusione è dunque inevitabile e provocatoria: « I fatti, lungi dall'essere ricevuti passivamente dalla mente, sono in qualche modo creati da lei »³⁵. Questa conclusione è pienamente valida solo per i fatti scientifici e, a questo punto, Le Roy recupera molta della critica epistemologica alla nozione di base empirica compiuta da Duhem. Tuttavia il quadro in cui queste analisi vengono inserite conferisce loro dei significati che sono totalmente estranei alle intenzioni di Duhem.

Innanzitutto, poste le premesse che abbiamo sopra sintetizzate, è chiaro che la messa in rilievo delle componenti soggettive presenti nella costruzione di un « fatto scientifico » è compiuta per porre in evidenza la natura distorta, ingannevole, dei fatti scientifici. Questo è lo scopo fondamentale che si propone Le Roy nel riprendere la critica alla base empirica di Duhem: mostrare che i fatti scientifici sono « schemi deformatori », che ci allontanano dalla conoscenza del reale. In Duhem, invece, la distinzione tra fatto bruto e fatto scientifico era intesa come precisazione, non come distorsione. Lo si è visto: ciò che importa a Duhem è porre in rilievo che la traduzione di un fatto bruto in uno schema matematico fa della « base empirica » qualcosa di infinitamente più preciso e determinato dei fatti bruti. È evidente che con la traduzione noi produciamo qualcosa di diverso dai fatti bruti, ma in questo non vi è « distorsione », deformazione, vi è aumento di precisione.

In secondo luogo, entro l'orizzonte filosofico-psicologico costruito da Le Roy, il lavoro dello scienziato finisce per risolversi in un gioco nel quale la vittoria è assicurata in partenza perché, nel caso sorgessero difficoltà, è sempre disponibile un vasto arsenale di « trucchi » per far tornare i conti. Questo aspetto si evidenzia assai bene nella trattazione che Le Roy fa del rapporto tra base empirica e leggi scientifiche.

Tralasciando l'ampia, ma non nuova, critica filosofica delle nozioni di costanza e di determinismo che Le Roy compie, sul piano strettamente epistemologico vanno notate alcune argomentazioni che, apparentemente riprese da Duhem (e altri), sono da Le Roy piegate a mostrare la sostanziale libertà assoluta, l'arbitrio che lo scienziato ha nello stabilire le proprie leggi di fronte alla base empirica.

³⁵ *Ibid.*, p. 517.

Le leggi quantitative richiedono, dice Le Roy, procedimenti di misura. Questi, a loro volta, richiedono la definizione di unità di misura la cui scelta è convenzionale ed arbitraria, quindi i risultati delle misure saranno a loro volta convenzionali ed arbitrari. « Ogni misura in fisica riposa su delle scelte di questa specie, assolutamente arbitrarie »³⁶. Il successo sperimentale di una legge, la sua verifica, non costituisce una prova della sua verità oggettiva. Infatti una legge stabilisce alcune condizioni sotto le quali essa è da ritenersi valida. Il risultato dell'esperienza ci serve semplicemente da criterio per decidere se queste condizioni sono soddisfatte oppure no.

« Quando l'esperienza fallisce, noi dichiariamo semplicemente che queste condizioni non erano tutte soddisfatte o che una causa sconosciuta e che si trova con questo definita è entrata in gioco. Non è dunque sorprendente che la legge si verifichi sempre, poiché noi stabiliamo che sfuggono al suo dominio tutti i casi in cui essa cade in difetto »³⁷.

In terzo luogo, neppure il successo delle previsioni effettuate per mezzo di una legge può essere accettato quale segno dell'esistenza reale di tale legge. Ciò dipende dal fatto che l'accordo tra legge matematica e risultati sperimentali è sempre approssimativo a causa degli errori di misura, inevitabili. Nei limiti di questa approssimazione si può sempre trovare non una, ma più funzioni matematiche che non solo descrivono (approssimativamente) i dati a disposizione, ma sono anche in grado di prevedere (sempre approssimativamente) nuovi dati, purché non ci si allontani troppo dalla regione nella quale si sono ottenuti i primi dati. Ciò è una conseguenza, oltreché del carattere approssimativo delle misure, della regolarità dei fenomeni, della mancanza di salti bruschi di essi, grazie alla quale, su brevi intervalli, le variazioni non sono mai rilevanti e una funzione analiticamente semplice riesce sempre, più o meno bene, ad approssimare i fenomeni su tali intervalli.

È facilissimo riconoscere in queste argomentazioni echi precisi delle pagine duhemiane. Pure la tonalità generale in cui sono inserite, la finalità cui sono dirette, lo stile della trattazione, producono un esito opposto a quello di Duhem. Costui analizza tutta la complessità del lavoro del fisico che confronta un'ipotesi con l'esperienza

³⁶ *Ibid.*, p. 520.

³⁷ *Ibid.*, p. 521.

per far luce sul faticoso processo, complesso, tortuoso, irto di trabocchetti e di alternative possibili, in forza del quale la scienza procede. Contro la facile, troppo facile immagine che del lavoro scientifico aveva il positivismo, Duhem si sforza di offrire la visione di un'attività lenta, prudente, difficile, proprio perché tesa ad una rappresentazione sempre più adeguata della realtà esterna. Tutto l'opposto, Le Roy ci offre un'immagine «giocosa», piana, rilassata del lavoro scientifico perché lo scienziato, a suo parere, non è mai impegnato nello sforzo di adattare i propri schemi ad una realtà esterna, ma si preoccupa di giocare con i propri simboli al fine di conservarli.

Questo risultato profondamente distante da quello di Duhem è ottenuto grazie ad un'importantissima, fondamentale differenza nel punto di vista che viene assunto per condurre le analisi. Nello studiare il rapporto tra leggi e misurazioni Duhem, come si è visto nel capitolo terzo, parte da una visione dinamica: i ritocchi, le modificazioni, i « trucchi » che lo scienziato mette in opera per cercare un accordo tra teorizzazione ed esperienza sono concepiti come altrettanti momenti di un faticoso, incerto tentativo, che a volte progredisce, di adattare sempre meglio gli schemi simbolici alla realtà. Al contrario, Le Roy considera staticamente le possibilità che lo scienziato ha di operare al fine di non lasciar sussistere discrepanze tra teorie e osservazioni. In questo caso le varie « mosse » nella strategia che attua il teorico di fronte ad esperienze recalcitranti non appaiono più tappe di un processo di miglioramento della teoria, ma altrettante scappatoie, altrettante sofistiche, facili imbrogli per tenere in piedi a tutti i costi un edificio che ha l'unico pregio di incontrare il gusto del ricercatore.

Opponendo una considerazione statica dell'operare dello scienziato a quella dinamica propria di Duhem, Le Roy può utilizzare le osservazioni del fisico parigino per indirizzarle verso un fine svalutativo della scienza, estraneo alle intenzioni duhemiane. Il fatto è che, al di là di occasionali convergenze, più apparenti che reali, tra il programma epistemologico di Le Roy (e di tutti i pensatori legati al modernismo e interessati a questa problematica come Wilbois e D'Adhémar³⁸) e quello

³⁸ Cfr. D'Adhémar, 1904, 1906, 1906-07, 1907; Wilbois, 1899-1900, 1901, 1907.

di Duhem vi era una divaricazione di fondo: mentre tutta la riflessione di Duhem intendeva essere un elogio del rigore, della chiarezza della scienza teorica, Le Roy voleva mostrare l'inadeguatezza dell'approccio «intellettualista» che proprio in Duhem trovava uno dei suoi più entusiasti e validi difensori. Questa divergenza radicale tra i due modi di concepire la riflessione critica sulla scienza fu riconosciuto anche da uno dei più capaci e attivi seguaci di Le Roy, Robert D'Adhémar. Questi molto acutamente mise in rilievo che mentre Duhem riteneva che l'oggetto privilegiato della riflessione dovesse essere la scienza già costruita, cioè la teoria, Le Roy vedeva invece nelle teorie matematizzate la massima espressione dell'intellettualismo e riteneva che per cogliere la vera natura della scienza si dovesse considerare (tramite la psicologia) l'attività dell'invenzione. In questo modo l'epistemologia, che si occupa di espressioni linguisticamente definite, veniva definitivamente ad essere soppiantata dalla psicologia. « È l'attitudine puramente intellettualista — affermava D'Adhémar in *La philosophie des sciences et le problème religieux* del 1904 — è l'ossessione del desiderio del discorso perfetto che sono il grande ostacolo contro cui si urta la mente di fronte alla scienza ». L'intellettualismo manifesta insormontabili difficoltà; « passiamo dalla statica alla dinamica e per sapere in che misura si può comprendere consideriamo i gesti dell'inventore. Sforziamoci di ritrovare con questo l'inesprimibile originalità che caratterizza l'innovatore. Noi dobbiamo vivere la nostra scienza, cioè riprodurre in noi gli stati d'animo dei creatori. Senza ciò noi non la conosciamo »³⁹. Le critiche rigorosamente epistemologiche di Duhem potevano anche essere accolte e utilizzate, ma ciò che doveva poi rappresentare il nucleo forte della riflessione sulla scienza veniva ad essere indicato nell'analisi (psicologica) della invenzione, in cui il vivente poteva essere colto al di fuori di ogni irrigidimento. Come diceva Le Roy: « Bisogna entrare nella parte oscura del

³⁹ D'Adhémar, 1904, pp. 39-40. Ciò non è in contrasto con quanto detto prima a proposito dell'atteggiamento statico assunto da Le Roy in epistemologia. Infatti le analisi epistemologiche di Le Roy non hanno come fine quello di scoprire le modalità dell'invenzione, questo è un problema aggredibile solo per via psicologica (cfr. Le Roy, 1938). L'analisi epistemologica si occupa del livello formalizzato del discorso scientifico (ed ha pertanto caratteri statici), l'analisi psicologica del livello non formalizzato, che, a parere di LeRoy, è l'unico importante.

sapere per coglierne bene anche le stesse parti chiare ... Il discorso è subordinato all'azione e il chiaro allo scuro »⁴⁰.

In definitiva, dunque, anche se il convenzionalismo radicale di Le Roy poté in alcune occasioni civettare con le posizioni di Duhem, si differenziò nettamente dal pensiero di quest'ultimo sia per la metodologia che per le finalità. Le Roy affrontò la critica della scienza affidandosi prevalentemente all'indagine filosofico-psicologica, e solo marginalmente condusse (o meglio recuperò) indagini epistemologiche. Egli si propose una finalità fondamentalmente svalutativa della scienza, interessato com'era a far posto ad altre forme di conoscenza ad essa « superiori ». Duhem non affermò mai che vi fossero modi di conoscere radicalmente distinti fra di loro, non oppose mai il carattere discorsivo proprio della scienza a forme intuitive di conoscenza, ma ritenne che un unico tipo di razionalità fosse possibile e lecito per l'uomo. Questo aspetto del pensiero duhemiano si rivelò con particolare chiarezza nei suoi scritti sul problema religioso che esaminerò nel prossimo paragrafo.

Il confronto con Le Roy conferma quanto già si era detto in alcune osservazioni disseminate in precedenza: è fondamentalmente errato considerare Duhem uno dei massimi sostenitori di una concezione svalutativa, non conoscitiva delle scienze, uno dei rappresentanti più significativi del convenzionalismo inteso come risposta scettica alla « crisi delle scienze » aperta dalla critica del meccanicismo. I capitoli II e III hanno mostrato come, da un lato, in Duhem non trovi spazio la tematica della « crisi » del pensiero scientifico e, dall'altro lato, come la sua epistemologia fosse un tentativo di superare la concezione di scienza propria del positivismo senza nulla concedere allo scetticismo.

Il tema della crisi della scienza trasse origine e forza in sede letteraria e filosofica, dalle opere di Nietzsche, di Bergson, dal dibattito sulla bancarotta della scienza avviato da Brunetière. Non trovò spazio, invece, presso scienziati o epistemologi in contatto profondo con le ricerche più aggiornate: per costoro gli ultimi anni del secolo furono anni di grandi avanzate, costituirono un periodo esaltante in cui si accumulavano con ritmo senza precedenti nuove scoperte, si aprivano nuove prospettive. Certo queste novità ponevano in difficoltà vecchi schemi concettuali, questo fu riconosciuto da tutti, ma chi trasse da questa osservazione conclusioni pessimistiche? Non certo coloro che più da vicino conoscevano la dinamica scientifica, i quali più che sottolineare le

⁴⁰ Cit. in D'Adhémar, 1904, p. 42.

difficoltà delle vecchie teorie posero in luce la fecondità dei nuovi punti di vista che via via si aprivano: Mach e i suoi seguaci, o Ostwald, o Nerst, ritenevano che si fosse inaugurata una stagione nuova che avrebbe visto la riunificazione di branche in precedenza separate, come la psicologia e la fisica, la fisica e la chimica; ma anche i costruttori della « visione elettromagnetica della materia », Lorentz e Larmor, concepivano le proprie nuove teorie come un grande passo in avanti rispetto alla meccanica; e Kelvin, Rutherford, J. J. Thomson, Perrin, Langevin, tutti coloro che dopo la scoperta dei fenomeni radioattivi cominciarono a lavorare sui modelli atomici, lo fecero con lo spirito entusiasta dell'esploratore che vede aprirsi nuove contrade sconosciute. Lo stesso Poincaré, cui si deve l'infelice uso dell'espressione « disfatta di tutti i principi », non manifestò affatto un atteggiamento complessivamente pessimista.

Certo scienziati come Kelvin e Lorentz parlarono anche di « fallimento » e, soprattutto in relazione agli sviluppi degli studi sui fenomeni quantistici, di « tenebre »⁴¹, ma, a questo proposito, si tratterebbe di analizzare quanto queste note pessimistiche fossero legate a difficoltà proprie di quei particolari programmi di ricerca che quegli scienziati avevano tentato di sviluppare per molti anni piuttosto che scaturire da una valutazione della scienza nel suo complesso. In ogni caso, e questa è l'osservazione fondamentale da farsi dal nostro punto di vista, l'origine del convenzionalismo in Duhem è precedente a quelle dichiarazioni e totalmente svincolata da ogni nota pessimistica.

Nel 1894 il corpo centrale dell'epistemologia duhemiana era già formato, ma i fenomeni radioattivi, che parte preponderante avranno nel produrre « disfatte » e « tenebre », dovevano ancora essere scoperti. Il « convenzionalismo » di Duhem non nacque affatto come risposta a difficoltà della scienza ma come prodotto, riflesso di una scienza che, dal punto di vista duhemiano, era in tumultuosa, inarrestabile avanzata, la termodinamica. È una scienza che procede a passi da gigante quella che ha dinnanzi gli occhi Duhem, non una scienza in ritirata, che debba abbassare le proprie pretese. Conseguentemente la sua epistemologia non ha obiettivi di fondo svalutativi, anzi per molti versi può essere intesa, esattamente al contrario, come un tentativo di rivalutare l'im-

⁴¹ Lorentz apriva il Congresso Solvay del 1911 parlando di « tenebre che ci avvolgono da ogni parte » (Langevin - De Broglie, 1912, p. 7). Sull'impatto avuto sulla comunità scientifica dalla introduzione delle prime idee quantistiche il testo fondamentale è ora Kuhn, 1978.

presa scientifica. Lo si è visto a piú riprese: la concezione strumentalista delle teorie scientifiche non fu affatto la novità prodotta dalla critica al positivismo di fine secolo, fu piuttosto una caratteristica del positivismo stesso, soprattutto in Francia, tutto teso a esaltare l'esperienza e a ridurre i concetti teorici a strumenti classificatori. Contro lo strumentalismo, e in particolare contro la sua pericolosissima variante presentatasi sotto le vesti del modellismo anglosassone, Duhem sin dal 1893 difese una concezione conoscitiva della scienza. La ricostruzione che ho compiuto della genesi e della struttura della *Théorie physique* dimostra che questo celebre testo, sempre esaltato come la versione piú sistematica del convenzionalismo, fu in realtà scritto per opporsi alla ventata convenzionalista, che le riaffermazioni realiste contenute in esso non furono affatto aggiunte estrinseche o certamente contraddittorie con l'ispirazione di fondo.

Certamente la difesa della scienza compiuta da Duhem fu una difesa che partiva da una critica al dogmatismo positivista la quale faceva crollare il fondamento apparentemente saldo sul quale il positivismo aveva tentato di erigere una conoscenza non soggetta al dubbio e alla critica, la base empirica intesa come insieme di asserti osservativi indipendenti da ogni teoria. Gli argomenti impiegati da Duhem nella sua acuta critica ad una pretesa base empirica puramente osservativa furono ripresi dalla cultura letteraria e filosofica, soprattutto da Le Roy, e usati per criticare l'esistenza di una base empirica di qualsiasi tipo. Ciò che si proponeva Duhem era il chiarimento dei caratteri della fisica sperimentale, ma il suo pensiero fu usato per negare che potesse esistere una fisica sperimentale. Quando Duhem dichiarava che ogni risultato sperimentale dipende da un complesso teorico, intendeva sottolineare che quel risultato ha una validità che non dipende solo dall'esperienza, ma anche dalla teoria; è cioè sí sperimentale, ma non puramente sperimentale. Nel discorso di Le Roy, di Wilbois e di tutta la critica filosofico-letteraria gli argomenti duhemiani vennero intesi come dimostrazione dell'asserto che un risultato sperimentale dipende solo dalla teoria, non dall'esperienza, che cioè non esiste la fisica sperimentale, esiste solo la fisica teorica. Laddove Duhem sosteneva l'inscindibile nesso tra teoria ed esperienza, si sostenne la necessità di sopprimere uno dei due termini, l'esperienza.

La distruzione della base empirica fu un prodotto deteriore della critica duhemiana. Alle distinzioni assolute e astoriche tipiche del positivismo tra teoria ed

esperienza, tra teorico e osservativo, Duhem oppose una relativizzazione dei due termini e una loro storicizzazione. Ciò che noi possiamo considerare osservativo dipende dal grado di saldezza che siamo disposti ad attribuire a certe teorie, ma ciò non toglie che, ammesse quelle teorie, si possa parlare effettivamente di « osservazioni ». Una volta accolte le teorie che regolano il comportamento del manometro, si possono compiere delle misurazioni sul valore della pressione di un gas che risultano essere delle *osservazioni*, non delle costruzioni teoriche che lo scienziato è in grado di modellare a proprio piacimento. Ciò che si può considerare osservativo in questo senso varia da epoca ad epoca, in relazione alle teorie che la comunità scientifica è disposta ad ammettere, ma ciò non toglie che in ogni epoca esistano degli asserti che possono essere considerati osservativi.

Questa relativizzazione e storicizzazione della distinzione tra teorico e osservativo compiuta da Duhem non fu recepita, anche perché la polemica contro il positivismo portò Duhem inevitabilmente a esaltare le componenti teoriche presenti nell'osservazione. Nella cultura francese di ispirazione convenzionalista fu in fondo ancora mantenuta la distinzione assoluta e storica fra i due termini, solo che mentre il positivismo esaltava l'osservativo separandolo nettamente dal teorico, dalla circostanza che una simile distinzione assoluta non esiste, si passò ad eliminare *tout court* ogni distinzione e ad identificare l'osservativo con il teorico. Dalla considerazione, su cui Duhem più di ogni altro richiamò l'attenzione, che ogni osservazione dipende *anche* da certe teorie, si saltò a dichiarare che in una osservazione le teorie sono tutto. Una volta compiuta questa operazione, fu facile assumere la critica duhemiana al positivismo come base di lancio per tutte le varianti dello scetticismo riguardo alla scienza, dal bergsonismo, al rinascente idealismo, al pragmatismo, ecc.

3. - DUHEM E IL NEOTOMISMO.

Una delle convinzioni erronee più diffuse sul pensiero di Duhem lo colloca nell'ambito del neotomismo⁴². L'errore è duplice, storico e teorico; storico in quanto proprio dall'ambiente neotomista provennero

⁴² Questo errore risale almeno a Favaro, 1921, pp. 137-9; passa attraverso Frank, 1973, p. 28 e ss.; Crombie, 1957; Wiener, 1973; Nye, 1976, per arrivare sino al recente Paul, 1979.

le critiche piú aspre alla posizione assunta da Duhem a proposito dei rapporti tra scienza e fede, teorico perché tra l'impostazione duhemiana e quella neotomista vi era una divergenza di principio irriducibile.

Il pensiero francese nella seconda metà dell'Ottocento conobbe sul tema della religione due spettacolari mutamenti: dapprima vi fu il passaggio dallo stadio « metafisico » del secondo Impero, dominato da una cultura con forti interessi metafisici e religiosi, alla fase « positiva » della terza repubblica, durante la quale la battaglia antimetafisica e antireligiosa si svolse con grande clamore⁴³, poi, negli ultimi anni del secolo, si assistette ad un prepotente risveglio dell'interesse della cultura per la religione e la metafisica.

Certamente la reazione avvenuta sullo scorcio dell'Ottocento non fu una rivoluzione totale della tradizione culturale precedente. Entro il pensiero positivista era stato offerto molto spazio alla tematica dei limiti della scienza, alle questioni destinate a non ricevere risposta, all'inconoscibile, al mistero, temi, questi, che costituivano evidentemente un terreno fertile per la crescita di forti interessi verso quelle risposte che la scienza stessa si dichiarava incapace di dare⁴⁴.

D'altro canto sulla scienza venivano caricati compiti e responsabilità troppo grossi, che stavano al di là dei suoi legittimi limiti di competenza e che erano inevitabilmente destinati a produrre disillusione e scoramento, e a favorire così l'accendersi della polemica sulla « bancarotta » della scienza a fine secolo.

In campo filosofico, per tutto il periodo apparentemente dominato dagli studiosi positivisti, spiritualismo e idealismo non cessarono affatto di essere presenti⁴⁵, anzi proprio nelle opere antipositiviste dei « liberi prosecutori » di Cousin, cioè Renouvier, Cournot, Vacherot, Ravaisson, Secrétan, Caro, Janet e Lachelier troveranno appoggio, spunti e riferimenti continui le grandi opere critiche di Boutroux e di Bergson. A fine secolo questo movimento spiritualista sfociò in un moto di « rivolta del cuore contro l'intelligenza »⁴⁶ che si propose di rivalutare la sfera della sensibilità distinguendola in modo netto dalla sfera della conoscenza, assegnando la religione alla prima e la scienza alla seconda. Questo indirizzo non fu peculiare della sola Francia, fu una tendenza

⁴³ Sull'argomento cfr. Paul, 1967, 1969; Mc Cool, 1977.

⁴⁴ Cfr. Moody, 1968, 1971.

⁴⁵ Cfr. Guérard, 1913; Charlton, 1959, 1963.

⁴⁶ Cfr. la bibliografia di n. 1 cap. 2.

largamente presente in tutta la cultura europea e, addirittura, Mandelbaum nel suo ormai classico studio di storia delle idee del XIX secolo, ha affermato che « la piú influente direttrice del pensiero ottocentesco fu quella che tentò di separare scienza e religione e di mantenere il valore di entrambe »⁴⁷. Pure, in Francia il dibattito fra scienza e fede quali regni irrimediabilmente distinti della cultura fu piú ampio e piú appassionato che in ogni altro paese. L'antiintellettualismo, il « revival » di Pascal⁴⁸, la crisi modernista⁴⁹ furono in Francia temi che penetrarono in ampiezza e profondità nella cultura e che, alimentandosi del contemporaneo dibattito epistemologico sulla scienza, conferirono alla cultura francese una totalità particolare.

La cultura cattolica che si esprimeva nelle istituzioni ecclesiastiche si oppose a questa ventata⁵⁰. Fino alla fine degli anni '70 la cultura cattolica francese era composta da svariati sistemi conflittuali, dal tradizionalismo, all'ontologismo, al misticismo⁵¹. Raramente studiosi cattolici seppero produrre studi in grado di contrastare quelli compiuti dai loro avversari positivisti. Particolarmente carente fu l'interesse per problematiche scientifiche, al di là di un'accanita quanto poco articolata polemica contro la teoria dell'evoluzione⁵². Le scienze esatte furono oggetto di riflessione solamente da parte di alcuni personaggi isolati, come Alphonse Gratry⁵³, che ebbe qualche parte nel preparare il successivo avvento del pensiero tomista, e Bordas-Demoulin⁵⁴, entrambi interessati ad un uso apologetico del calcolo infinitesimale.

Il tentativo piú interessante, e che una certa risonanza ebbe tra filosofi come Janet e Boutroux⁵⁵, fu quello compiuto da Boussinesq in *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale* (1878). La conciliazione tra meccanicismo e

⁴⁷ Mandelbaum, 1971, p. 37.

⁴⁸ Cfr. Eastwood, 1936.

⁴⁹ Cfr. Marlé, 1960; Poulat, 1962; Montuclard, 1965; Vidler, 1970; Reardon, 1977.

⁵⁰ Cfr. Lecanuet, 1930; Ozouf, 1963; Gadille, 1967; Paul, 1967.

⁵¹ Cfr. Foucher, 1955.

⁵² Paul, 1979, dà grande rilievo all'influenza avuta dalla discussione sul darwinismo per gli sviluppi della teologia francese.

⁵³ Cfr. Gratry, 1853, 1855, 1858. Su Gratry cfr. Pointud-Guillemot, 1917.

⁵⁴ Cfr. Bordas-Demoulin, 1846.

⁵⁵ Janet scrisse la prefazione di Boussinesq, 1878; Boutroux discusse questo lavoro in Boutroux, 1895, pp. 46-7.

libero arbitrio è compiuta da Boussinesq tramite una distinzione tra equazioni differenziali che posseggono soluzioni singolari e quelle che non le posseggono: mentre queste ultime descrivono un determinismo assoluto, le prime, proprio grazie alle singolarità, consentono un margine all'indeterminismo. Così, le leggi dei fenomeni di movimento si dividono in due grandi gruppi: nel gruppo che ammette integrali singolari qualche causa non fisica deve intervenire a « dirigere il sistema ad ogni biforcazione di integrale che si presenterà »⁵⁶. In questo gruppo vanno collocati gli esseri viventi, che si muovono in forza di un principio direttore extra-fisico.

La situazione mutò, in Francia come in Italia, quando con l'enciclica *Aeterni Patris* del 4 agosto 1879 Leone XIII dichiarò la filosofia tomista filosofia ufficiale dei cattolici e diede il via ad una serie d'iniziative destinate programmaticamente a fare del neotomismo una corrente culturale in grado di confrontarsi con ogni aspetto del pensiero contemporaneo⁵⁷.

L'enciclica era molto chiara a proposito del rapporto che andava instaurato tra scienza e fede: nessun contrasto può sorgere tra le due, non perché appartengono a sfere separate, ma in quanto entrambe mirano alla ricerca della verità. La fede è anzi presentata come sostegno indispensabile alla ragione che vuol cogliere « la grandezza e bellezza della creatura » per vedere intellegibilmente da essa il Creatore:

Essendo la mente umana rinchiusa entro ben determinati e angusti confini, è soggetta a molti errori e all'ignoranza di molte cose. La fede cristiana, invece, appoggiandosi sull'autorità di Dio, è maestra sicurissima di verità, e chi la segue non è preso ai lacci dell'errore, né è sbattuto dai flutti di incerte opinioni⁵⁸.

Le verità di fede sono indicate come pietre di paragone per respingere teorie erronee e dare autorità a concezioni esatte.

E quando [i filosofi] nel confrontare proposizioni che sono contrarie alla fede e nel provare quelle che con essa si accordano, adoperano la forza del loro ingegno, fanno della ragione un utile e degno uso: nelle prime, infatti, scoprono la causa dell'errore e scorgono il vizio negli argomenti su cui si fondano; e nelle

⁵⁶ Boussinesq, 1878, p. 39.

⁵⁷ Sull'evoluzione della teologia cattolica francese dopo l'enciclica cfr. Simpson, 1935; Hocedez, 1947; Dansette, 1951; Gélinas, 1959; AA. VV., 1961; Paul, 1969, 1979; Mc Cool, 1977.

⁵⁸ Le citazioni sono tratte dal testo dell'enciclica pubblicato in AA. VV., 1979, pp. 203-4.

secondo giungono a trovare convincenti ragioni per solidamente dimostrarle e renderle persuasive a ogni saggio⁵⁹.

Questo rapporto di accordo subordinato tra ragione e fede viene esteso con grande chiarezza alla fisica:

Anche le scienze fisiche, che sono ora in grande onore, e che per tante e cosí splendide scoperte suscitano dovunque grande ammirazione, non solo non subiranno alcun danno dalla filosofia degli antichi, ma riceveranno molti aiuti. Poiché per studiarle con frutto e accrescerle non basta la sola osservazione dei fatti e la sola considerazione della natura, ma, quando i fatti son certi, è necessario sollevarsi piú in alto e cercare con solerzia di *conoscere la natura delle cose*, e investigare le leggi a cui obbediscono e i *principii* da cui nascono il loro ordine e la loro unitá nella varietà, e la reciproca affinitá nella diversità. Alle quali ricerche è cosa meravigliosa quanta forza e luce sia per apportare la filosofia scolastica, se insegnata con saggio metodo⁶⁰.

Il neotomismo si trovava cosí, fin dall'atto del suo rilancio, in opposizione radicale e di principio ad ogni tentativo di rompere la *continuitá* tra sfera della conoscenza religiosa e sfera della conoscenza scientifica⁶¹. È chiaro che, assumendo questo punto di vista, gli studiosi che si ispiravano ad esso non potevano che trovarsi in netto disaccordo con posizioni come quella di Duhem che proponeva una *separazione* e *decisa* tra teorie scientifiche e metafisica.

E infatti non mancarono le polemiche. La piú importante rivista francese tomista fu gli *Annales de philosophie chrétienne*, organo della *Société de Saint Thomas d'Aquin*, il cui programma era cosí sintetizzato: « Studio e volgarizzazione delle teorie dei padri della Chiesa, particolarmente di S. Tommaso d'Aquino. Studio ed esame critico delle diverse teorie filosofiche. Studio delle scienze naturali e sperimentali per farle servire all'apologia della religione »⁶².

Nel corso del decennio 1880-1890 la rivista si occupò poco di pro-

⁵⁹ *Ibid.*, p. 207.

⁶⁰ *Ibid.*, p. 220 (spaz. mie).

⁶¹ Il testo piú importante della filosofia tomista prodotto in quegli anni sul rapporto tra fisica e metafisica in cui con tutta evidenza viene respinto ogni tentativo di netta separazione tra le due fu Cornoldi, 1891 (dello stesso autore si veda anche 1876). In ambiente francese questo tema fu trattato ampiamente negli anni novanta tanto sugli « *Annales de philosophie chrétienne* » (De Broglie, 1889-90; Bulliot, 1891-2; Carra de Vaux, 1896), quanto sulla « *Revue des questions scientifiques* » (cfr. Nye, 1976), quanto in testi anche ponderosi come Courbet, 1899.

⁶² Il programma è riportato su ogni numero della rivista.

blemi scientifici, dedicando ad essi in pratica solo qualche articolo di polemica contro l'atomismo e preferendo di gran lunga occuparsi delle dimensioni misteriose, enigmatiche della natura, soprattutto dei fenomeni ipnotici. Nei pochi articoli di argomento scientifico, comunque, fu sempre chiaro il convincimento che la scienza avesse come proprio oggetto la verità e, come tale, dovesse chiedere lumi e obbedire alla metafisica.

Nel 1893 sulla rivista venne pubblicata, con il titolo *De la valeur objective des hypothèses physiques*, una lunga comunicazione di Vicaire da lui già letta alla *Société*. Si trattava di una risposta all'articolo di Duhem dell'anno precedente, *Réflexions au sujet des théories physiques*, che veniva indicato come il più grave sintomo della crescente « invasione di scetticismo ».

Il male è dunque più grande di quanto non si supponesse e più urgente la necessità di combatterlo⁶³. L'opposizione a Duhem riguarda questioni di assoluta importanza. La tesi fondamentale, più ancora, il sistema generale è falso⁶⁴. La scienza teorica sostiene Vicaire, non ha alcun fine utilitaristico, ma quello di svelarci la natura nascosta delle cose. Le teorie secondo la nozione tradizionale e volgare, che secondo me è sempre buona, hanno come scopo quello di spiegare i fenomeni e le loro leggi⁶⁵.

Tutti i meriti pratici che le teorie possono avere sono secondari.

Un merito d'ordine ben più elevato risiede nella loro propria bellezza, nell'ordine che esse ci rivelano in seno alla natura ... Questa bellezza, che consiste nell'armonia che esse mettono in evidenza tra le leggi, nell'incatenamento più intimo dei fatti che esse ci manifestano attraverso la conoscenza delle cause, è incontestabilmente il merito essenziale delle teorie, la loro vera ragion d'essere e la loro attrattiva per lo scienziato degno di questo nome. Contemplare questa bellezza è la più alta soddisfazione dello spirito, l'oggetto essenziale e lo scopo definitivo della scienza⁶⁶.

Questo, prosegue Vicaire, è lo spirito che ha sempre guidato i più grandi scienziati, mentre una concezione « simbolista » delle teorie priva la scienza di ogni attrattiva, uccide ogni curiosità.

Certo chi crede le teorie « esplicative » userà come guida dei principi che sono sicuramente metafisici, ma non per questo meno utili, anzi tali principi forniscono una guida indispensabile per l'edificazione della

⁶³ Vicaire, 1893, p. 51.

⁶⁴ *Ibid.*, p. 50.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 54.

⁶⁶ *Ibid.*, p. 60.

teoria. Il seguace, eventuale, di una concezione simbolista non avrà guida alcuna nel proprio lavoro ed ogni sua definizione sarà soggetta alla piú assoluta arbitrarietà.

Ma nessuno storicamente ha mai seguito la metodologia preconizzata da Duhem (e questa obiezione, lo si è visto nel capitolo precedente, aveva dato molto da pensare a Duhem). Questa metodologia è una pericolosa forma di scetticismo, mentre la scienza può giungere a conquistare delle certezze, lo dimostra la possibilità di esperimenti cruciali quale quello compiuto da Wiener sulla polarizzazione della luce.

Quest'ultima osservazione colpì evidentemente molto Duhem che di lì a un anno, come abbiamo visto nel secondo capitolo, elaborò la propria critica agli esperimenti cruciali proprio analizzando l'esperimento di Wiener e rovesciando l'interpretazione datagli da Vicaire.

Gli attacchi a Duhem sugli *Annales* si moltiplicarono⁶⁷ e una risposta dell'interessato, sempre lieto di polemizzare, non si fece attendere. Nello stesso 1893, sulla stessa rivista, fece pubblicare *Physique et méta-physique* nel quale affrontava per la prima volta in modo ampio ed esplicito il rapporto tra scienza e metafisica.

Tra fisica e metafisica, sostiene Duhem, vi è una differenza di natura:

La fisica è lo studio dei fenomeni, di cui la materia bruta è la sede, e delle leggi che li reggono. La metafisica (o cosmologia) cerca di conoscere la natura della materia bruta, considerata come causa dei fenomeni e come ragion d'essere delle leggi fisiche⁶⁸. Questa distinzione non dipende però dall'oggetto, ma dalla nostra intelligenza: un'intelligenza che avesse la visione diretta, intuitiva dell'essenza delle cose — tale è, secondo l'insegnamento dei teologi, un'intelligenza angelica — non farebbe distinzione fra la fisica e la metafisica⁶⁹.

All'intelligenza umana Duhem pone un limite che produce un'immediata divaricazione rispetto alla impostazione tomista: « Noi non possiamo conoscere l'essenza delle cose se non in quanto quest'essenza è la causa e la ragion d'essere dei fenomeni e delle leggi che li reggono; lo studio dei fenomeni e delle leggi deve dunque precedere la ricerca delle cause »⁷⁰. La fisica viene pertanto prima lo-

⁶⁷ Cfr. Domet de Vorges, 1893-4; Lechallas, 1893 a, 1893-4; per una piú meditata critica cfr. Lechallas, 1907.

⁶⁸ Duhem, 1893 c, p. 58.

⁶⁹ *Ibid.*, p. 58.

⁷⁰ *Ibid.*, p. 59.

gicamente della metafisica, non può prendere da questa direttive ma, al contrario, si pone come ricerca autonoma che, al caso, dà essa stessa suggerimenti al metafisico. Il metodo con cui lavora la fisica non abbisogna di alcun appoggio da parte della metafisica, le nozioni e i principi da esso implicati « appaiono alla nostra intelligenza sufficientemente certi, sufficientemente distinti perché noi possiamo, senza timore di confusione o di errori, metterli in opera con il metodo sperimentale »⁷¹. Anche se il metafisico può opplicarsi a chiarire ulteriormente e a dimostrare la solidità dei fondamenti su cui riposa il metodo sperimentale, « il fisico è tenuto ad ammettere questa verità come evidente; sul terreno proprio delle sue teorie, il fisico non può e non deve accettare il combattimento che con il fisico »⁷².

La distinzione netta tra i due piani della ricerca è per Duhem la condizione prioritaria e indispensabile per salvarsi da due pericoli ugualmente insidiosi: lo scetticismo e il positivismo. Lo scetticismo proviene dalla pretesa, inevitabilmente destinata a rivelarsi illusoria, di usare un metodo adatto ad un oggetto per lo studio di un oggetto differente, e lo stesso errore, con esiti opposti, commette il positivismo negando che possa esistere un metodo differente da quello proprio delle scienze naturali. Sui neotomisti, che l'avevano accusato di essere un positivista, Duhem rovescia l'accusa: « Se voi non stabilite una separazione radicale tra la fisica e la metafisica, se voi le confondete, voi siete tenuti a riconoscere che il metodo fisico è buono anche in metafisica e questo significa portare acqua al mulino del positivismo »⁷³.

Vi era dunque piena e inconciliabile differenza tra la posizione di Duhem e quella dei neotomisti a lui contemporanei⁷⁴, diffe-

⁷¹ *Ibid.*, p. 63.

⁷² *Ibid.*, p. 68.

⁷³ *Ibid.*, p. 71.

⁷⁴ In seguito le posizioni dei neotomisti mutarono. Se si confrontano le posizioni espresse da Duhem con quelle di un neotomista a lui posteriore, come fa Paul, 1979, impiegando gli scritti di Maritain, è facile concludere: « Non è una lite in famiglia tra tomisti? » (*ibid.*, p. 177). Le posizioni epistemologiche di Maritain nel campo delle scienze fisiche cominciarono ad essere espresse più di vent'anni dopo il dibattito tra Duhem e i neotomisti (cfr. gli articoli raccolti in Maritain, 1922 e 1924) ed erano indubbiamente ancora non precisamente ortodosse. Sull'epistemologia di Maritain nel suo percorso intellettuale cfr. Pavan, 1967, pp. 155-178. Oggi molti tomisti hanno una posizione nettamente differente da quella che era sostenuta al tempo di Duhem, per molti versi vicina a quella duhemiana. Ad esempio Fabro così si è di recente autorevolmente espresso: « Scienza e filo-

renza che non era semplicemente di dottrine, ma anche di abito mentale, che riguardava il modo di concepire lo studio filosofico della scienza. Duhem riteneva, con molta benevolenza, ma anche con deciso senso di superiorità, i filosofi neotomisti dei modesti dilettanti in campo scientifico, che nulla avevano capito circa la natura delle teorie scientifiche. Al congresso degli scienziati cattolici del 1894 Duhem intervenne suscitando, unica nota stonata nell'unanimità dei giudizi, notevole scalpore. Egli protestò « contro l'uso nella filosofia dei dati delle scienze positive che non si sarebbero assimilati con un lavoro approfondito »⁷⁵.

Lo spirito con cui Duhem compì quell'intervento è ben rivelato da una lettera da lui scritta alla madre:

... così, ieri, mi son deciso a menare un gran colpo. Ero nella sezione di filosofia, la sala era colma, soprattutto di ecclesiastici. Un bravo prete aveva trattato un'obiezione presa dalla meccanica. Mi si è domandato un parere sulla parte scientifica. Allora, francamente, io ho detto a tutti quei buoni filosofi cattolici che fino a quando essi si ostineranno a parlare di scienza senza saperne una sola parola i liberi pensatori si prenderanno gioco di loro, che, per parlare di questioni dove la scienza e la filosofia cattolica si toccano, occorre aver fatto dieci o quindici anni di scienza pura, e che, fino a quando essi non avranno formato degli uomini aventi delle conoscenze scientifiche approfondite, occorrerà far silenzio...⁷⁶.

Sostenendo la « separazione radicale tra fisica e metafisica », Duhem non intese mai d'altronde relegare nel campo della non-ragione la metafisica e la religione, e allinearsi così alle legioni dei bergsoniani. Anche se i loro metodi sono differenti, la ricerca in campo scientifico e quella in campo metafisico sono pur sempre indagini che si compiono seguendo metodi propri della ragione umana.

sia appartengono a prospettive intenzionali radicalmente diverse: la scienza cerca le leggi del comportamento degli eventi nello spazio e nel tempo, in vista di una eventuale trasformazione dei processi naturali a servizio della vita dell'uomo; la filosofia indaga il significato ultimo della realtà della verità — dell'essere e della vita — e dell'uomo in essa, nella sua qualità di coscienza riflette sul significato del suo essere e del suo ultimo fine. In questo senso, bisogna affermare che i progressi della scienza moderna non dipendono direttamente dall'orientamento e dai principi della filosofia moderna, ma dai metodi sempre più adatti escogitati dalla scienza per la sua indagine, che si è venuta costruendo mediante schemi e modelli matematici in modo sempre più autonomo » (Fabro, 1979, p. 56). Sulla epistemologia tomista del Novecento cfr. Noel, 1932; Van Riet, 1950.

⁷⁵ Domet de Vorges, 1896, p. 179. Cfr. anche *Compte rendu ...*, I (1895), pp. 313-5 e 322-5.

⁷⁶ Cit. in H. P. Duhem, 1936, p. 157.

Colui che ha penetrato sino in fondo questi due metodi vede una stessa ragione umana usare gli stessi mezzi essenziali per giungere alla verità; ma in ogni dominio egli vede questa ragione adattare l'uso che essa fa di questi mezzi all'oggetto speciale di cui essa vuole acquisire la conoscenza; così, con l'aiuto di operazioni comuni che costituiscono propriamente la nostra intelligenza, egli vede seguire un metodo dalle scienze matematiche, un metodo dalla fisica, un metodo dalla chimica, uno dalla biologia, uno dalla sociologia, uno dalla storia; perché le matematiche, la fisica, la chimica, la biologia, la sociologia, la storia hanno dei principi differenti e, per raggiungere questi oggetti, occorre, da punti di partenza diversi ma con lo stesso passo, seguire delle strade diverse. Egli riconosce allora che per andare alla verità religiosa, la ragione umana non impiega altri mezzi di cui essa si serve per raggiungere le altre verità, ma essa li impiega in modo differente perché i principi da cui parte e le conclusioni cui tende sono differenti ⁷⁷.

Queste dichiarazioni, peraltro non pubblicate, se fanno intravedere con chiarezza la direttrice fondamentale del pensiero di Duhem in proposito ed escludono la possibilità di collocarlo nella grande corrente di misticismo antiintellettualista, nulla dicono circa la natura di quella metodologia razionale che starebbe alla base della ricerca dei dogmi religiosi, e niente nell'opera di Duhem può servire a soddisfare la curiosità della critica in proposito.

Si sarebbe tentati di trovare in queste parole una influenza del tomismo, della sua profonda fiducia nella radicale razionalità dell'unico orizzonte dell'essere, che non può dare origine a ordini contrastanti di verità, della sua convinzione che ogni natura creata, fra cui la ragione umana, anche se posta e sostenuta nell'essere da Dio, sia originariamente da lui dotata di tutto ciò che le è necessario per agire secondo la propria natura, ma, con lo stesso grado di incertezza, quelle parole tanto generiche potrebbero essere riferite a svariate forme di razionalismo e vari indizi spingono a ritenere che Duhem non avesse in mente alcun riferimento al pensiero tomista. Secondo la testimonianza di Albert Dufourcq, la sua avversione per l'impostazione generale della dottrina di Tommaso fu sempre netta:

Con quanta severità [Duhem] giudicava San Tommaso d'Aquino! Egli rendeva volentieri omaggio alla coscienziosità con la quale San Tommaso esponeva le teorie degli antichi. Ma come si rammaricava dell'arbitrio con cui il discepolo di Sant'Alberto cuciva insieme le idee che ripugnano l'una all'altra. Egli paragonava volentieri il suo atteggiamento a quello di quei bambini che fanno un « puzzle » con degli elementi mal combinati. Come San Bonaventura, giudicava folle l'idea di bat-

⁷⁷ Il passo è tratto da una lettera a Bulliot cit. in H. P. Duhem, 1936, pp. 160-1.

tezzare lo Stagirita. Egli giungeva, cosa che mi pareva eccessiva, fino a contestare che il tomismo costituisce un sistema animato da uno spirito definito⁷⁸.

Queste parole trovano un preciso riscontro nelle analisi del pensiero di Tommaso compiute da Duhem nel quinto volume del *Système du monde*, analisi che si concludono con durissimi giudizi:

Simile ... al bambino che cerca di accostare gli uni agli altri i pezzi di un gioco di pazienza, Tommaso d'Aquino giustappone i frammenti che egli stacca dal Peripatetismo e da tutti i neoplatonismi, convinto che questi pezzi, così differenti per forma e colore, finiranno per riprodurre un quadro armonioso, una immagine filosofica del dogma cattolico ... Il tomismo non è una dottrina filosofica, è una aspirazione e una tendenza; non è una sintesi ma un desiderio di sintesi ... Il suo desiderio di sintesi è così grande da accecare il discernimento critico. Non si accorge che, in qualunque maniera le si ritagli e le si disponga, le dottrine di Aristotele, del *Libro delle Cause*, di Avicenna, non giungeranno mai ad accordarsi le une con le altre, poiché sono radicalmente eterogenee e incompatibili, e soprattutto perché sono inconciliabili con la fede cristiana⁷⁹.

Anche se in alcuni scritti, fondamentalmente in ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ, Duhem usò in maniera abbastanza strumentale a proprio sostegno alcune citazioni di Tommaso sulla distinzione tra astronomia fisica e astronomia matematica, mai ebbe parole di elogio per il pensiero complessivo dell'Aquinate, né, tantomeno, indicò in questo pensiero la strada per affrontare e risolvere il problema religioso⁸⁰. Su questa questione Duhem fu, con l'eccezione del tema di un dio che presiede il corso della storia della scienza già esaminato, estremamente reticente, anzi cercò di presentarsi come uno studioso il quale non voleva affrontare quel problema e che prestava molta attenzione a scrivere di argomenti e con argomentazioni del tutto svincolati da tematiche religiose.

Questa è l'impostazione che sottende al più celebre articolo dedicato da Duhem ai rapporti tra scienza e religione. Si tratta de *La physique du croyant* comparso negli *Annales de philosophie* nel 1905 e successivamente inserito in appendice alla *Théorie*. L'articolo era una risposta ad un attacco compiuto da Abel Rey in un lavoro pubblicato sulla *Revue de Métaphysique et de Morale* nel 1904 dal titolo *La philosophie*.

⁷⁸ Cit. *ibid.*, p. 203.

⁷⁹ Duhem, 1913-1959, V, pp. 569-70.

⁸⁰ Pare anzi che Duhem in lettere non pubblicate a Blondel e a Laberthonnière del 1913 e 1914 abbia avuto in privato giudizi assai duri sui tomisti a lui contemporanei. Cfr. Blondel - Wehrlé, 1969, p. 531; Lecanuet, 1930, pp. 478-9.

scientifique de M. Duhem. In questo articolo Rey ravvisava la chiara influenza di convinzioni religiose soprattutto in tre tesi di Duhem: 1) una concezione qualitativa dell'universo, 2) la diffidenza per una spiegazione completa dell'universo quale la immagina il meccanicismo, 3) la ripugnanza, piú dichiarata che reale, nei confronti di uno scetticismo integrale.

La posizione di Rey era manifestamente debole perché il privilegiamento della qualità sulla quantità, la diffidenza verso la spiegazione meccanicista e verso lo scetticismo integrale erano atteggiamenti largamente condivisi da personaggi che non facevano la minima concessione ai valori della religione, come Mach o come lo stesso Poincaré, e di per se stessi ben difficilmente potevano essere considerati sintomi di un chiaro influsso religioso.

Nella sua replica Duhem rivendica prima di ogni altra cosa la completa autonomia della propria epistemologia da influenze religiose, anzi sottolinea che « gli attacchi piú vivaci e numerosi contro questo modo di vedere sono venuti da chi professa la nostra stessa fede religiosa »⁸¹.

Con una sintesi degli argomenti già ampiamente impiegati nei suoi scritti storici ed epistemologici precedenti, Duhem espone le origini e le conclusioni « positive » della propria epistemologia che sfocia in una concezione di teoria fisica priva di ogni portata metafisica e quindi apologetica.

Tuttavia mentre nella sua polemica con il neotomismo si era arrestato a sottolineare la distanza che separa fisica e metafisica, qui Duhem va oltre, cercando di individuare quali nessi possano sussistere tra le due. Nel far questo compie un esplicito rovesciamento della posizione tomista, subordinando la metafisica alla fisica, anziché fare l'opposto: se la fisica può e deve procedere autonomamente, totalmente svincolata dalla metafisica, il metafisico, o cosmologo, deve tener conto sia delle leggi sperimentali che delle teorie fisiche, in quanto esse hanno una portata obiettiva.

« Le proposizioni che enunciano i fatti e formulano le leggi possiedono ciò che le proposizioni puramente teoriche non hanno e cioè una portata oggettiva »⁸². È vero che la componente oggettiva e quella « simbolica » (teorica) sono talmente intrecciate che è impossibile districarle con chiarezza senza possedere un notevole « esprit de finesse », un « fu-

⁸¹ Duhem, 1905 b, p. 313.

⁸² *Ibid.*, p. 327.

to »⁸³, ma è in definitiva possibile (in termini che in questo articolo rimangono assai nebulosi ma che, come si è visto nel capitolo terzo, risultano precisati nella restante produzione duhemiana) discernere quello che è il vero insegnamento dell'esperienza. Ora, di questo insegnamento devono tener conto il filosofo, il cosmologo, il metafisico. Le leggi sperimentali

possono dunque essere in accordo o in disaccordo con le proposizioni componenti un sistema cosmologico; l'autore del sistema non ha il diritto di essere indifferente a questo accordo che apporta alle sue intuizioni una preziosa conferma o al disaccordo che è per le sue dottrine una condanna senza appello⁸⁴.

Ma anche le teorie, se si ammette che esse tendano come limite verso una classificazione naturale (che, una volta raggiunta, sarebbe la cosmologia compiuta), hanno qualcosa da dire al cosmologo il quale dovrà cercare con esse una analogia: « più la teoria fisica da un lato e il sistema cosmologico dall'altro si avvicinano rispettivamente alla forma perfetta, più chiara e dettagliata dovrà essere l'analogia tra le due dottrine »⁸⁵. Anche qui, nell'analogia che si presuppone esistente tra fisica e metafisica, si potrebbe essere tentati di trovare un'eco del pensiero tomista, in particolare della dottrina dell'analogia dell'essere, che assicura la fondamentale unità dell'orizzonte universale dell'essere, nonostante la pluralità e la diversità degli esseri. Ma, ancora una volta, vi è da osservare che troppo laconiche e troppo vaghe sono le poche righe scritte da Duhem per poter istituire un raffronto serio. E, del resto, quanto si evince dal discorso duhemiano pare porre un chiaro discrimine con l'impostazione tomista: mentre nel pensiero tomista⁸⁶ la dottrina universale dell'essere si deduce dalla metafisica e si impone per argomentazioni metafisiche, quindi ritrova i caratteri (analogici) dell'essere in forza di ragioni metafisiche, in Duhem l'analogia tra cosmologia (metafisica) e fisica è argomentata con una linea di pensiero storico-epistemologica ed è la fisica a rivelare i caratteri che, per via analogica, devono essere fatti propri dalla metafisica. Tommaso parte dalla fondamentale affermazione che le cose « partecipano » non solo delle idee di Dio, bensì anche dell'essere di Dio. Vi è una distinzione tra Dio e le sue creature, perché

⁸³ *Ibid.*, p. 329.

⁸⁴ *Ibid.*, p. 327.

⁸⁵ *Ibid.*, p. 338.

⁸⁶ Le righe che seguono si fondano sulla lettura di Van Riet, 1950, 1960; Verneaux, 1967.

Dio è l'Essere di per sé, e le sue creature hanno l'essere solo per partecipazione, ma fra l'essere di Dio e l'essere delle creature vi è analogia, perché l'essere di queste partecipa per somiglianza all'essere di Dio. Di tutt'altro genere era, lo si è visto, il percorso che conduceva Duhem alla nozione di classificazione naturale, percorso in cui storia della scienza ed epistemologia si intrecciavano, ma dal quale era escluso ogni riferimento ad una qualche teoria dell'essere. E mentre per il tomismo era la metafisica che serviva da pietra di paragone per giudicare la correttezza o meno delle teorie fisiche, per Duhem è la fisica, o meglio l'indagine storico-epistemologica su di essa, a fare da arbitro tra metafisiche rivali. Così, è l'analisi delle tendenze di fondo della fisica negli ultimi secoli, che, a giudizio di Duhem, sono destinate a sfociare nella termodinamica generalizzata, ad indicare una metafisica preferibile alle altre, quella di Aristotele. La metafisica aristotelica attrae Duhem perché risulta la più consona (analoga) a quella classificazione naturale che già pare prefigurarsi nella termodinamica generalizzata.

Questa idea era stata espressa sin dal 1896 a conclusione di una riflessione sul corso della fisica degli ultimi secoli. Duhem individuava la direttrice fondamentale di quello sviluppo in un progressivo riavvicinamento della teoria fisica moderna alla teoria aristotelica: « Questa scienza, la nuova termodinamica, è veramente la fisica che Aristotele aveva schizzato a grandi linee »⁸⁷. Anche se poi queste parole non furono mai rinnegate apertamente, Duhem nelle sue opere successive non amò soffermarsi sull'accordo tra fisica moderna e fisica peripatetica, dimostrando una sorta di disagio, se non di pudore. In *Le Mixte* (1902) Duhem sembra addirittura restringere la propria ammirazione per Aristotele esclusivamente al suo atteggiamento metodologico e sostenere l'esistenza di una radicale differenza tra fisica moderna e fisica aristotelica:

Per Aristotele ogni ricerca filosofica ha a proprio fondamento un'analisi logica molto minuziosa, molto precisa dei concetti che la percezione fa sorgere nella nostra intelligenza; in ogni nozione è bene mettere a nudo ciò che è l'esatto apporto dell'esperienza, cosa che costituisce l'essenza di questa nozione, e respingere con severità gli ornamenti parassiti con cui l'immaginazione l'ha indebolita⁸⁸.

Ma subito si affrettava ad aggiungere:

È per questa analisi logica preliminare, *ma solo per questa*, che la fisica peripate-

⁸⁷ Duhem, 1896 a, p. 499.

⁸⁸ Duhem, 1902 a, p. 202.

tica si avvicina alla fisica attuale. Una volta terminata quest'analisi, le due fisiche si separano e per strade divergenti si dirigono a oggetti differenti. *Le teorie della fisica moderna sono radicalmente eterogenee alla fisica peripatetica*, queste due fisiche sono legate l'una all'altra soltanto per via dell'analisi logica che rappresenta il loro comune punto di partenza⁸⁹.

Nella *Théorie* la questione non è sollevata e Aristotele non è mai citato in termini molto lusinghieri. Duhem preferì insistere sulla fecondità storica di certi concetti aristotelici, sulla funzione positiva da essi svolta nel corso dello sviluppo del pensiero scientifico. *La physique du croyant* è il testo in cui, piú che in ogni altro luogo, Duhem cede alla tentazione (certo trascinatovi dalla polemica con Rey) di indicare concrete convergenze tra fisica antica e moderna termodinamica: grande importanza della nozione di qualità, concetto di movimento piú ampio di quello di movimento locale, concezione di trasformazione materiale intesa come modificazione della vecchia sostanza e creazione di una sostanza nuova, teoria dei luoghi naturali che presuppone « uno stato dove l'ordine dell'universo sia perfetto, analoga al principio di entropia massima ». È questa una delle pagine piú caduche di Duhem, ma l'ironia che facilmente si potrebbe fare su di essa non deve farci dimenticare, per una equilibrata valutazione critica, che fu appunto *una* pagina, una sola delle migliaia da lui scritte. È questo un chiaro sintomo di come Duhem ritenesse la propria simpatia per la fisica aristotelica una questione « privata », che egli si sforzò, fin quando non fu chiamato alla polemica su questo punto specifico, di tenere distinta dal restante campo della propria riflessione.

In ogni caso, e questo ci riporta al tema fondamentale che qui ci interessa, l'amore di Duhem per Aristotele fu un amore « laico », che non consente di accomunarlo ai neotomisti. Duhem, nell'affermare l'analogia tra cosmologia aristotelica e fisica moderna precisò contemporaneamente che non intendeva con questo fare in alcun modo apologetica:

Una fisica, la cui analogia con la cosmologia di Aristotele e della Scuola si evidenzia così chiaramente, è la fisica del credente. Perché? Vi è qualcosa nella cosmologia di Aristotele o in quella della Scolastica, che implichi una necessaria adesione al dogma cattolico? Il non credente non può, così come il credente, adottare tale dottrina? E infatti non è stata forse insegnata da pagani, musulmani, ebrei, eretici così come da fedeli figli della Chiesa? Dove dunque si trova il carattere essenzialmente cattolico di cui la si dice improntata? È forse per il fatto che un gran numero di dottori cattolici, e dei piú eminenti, hanno lavorato al suo progresso? O per il fatto che un papa, ancora poco fa, proclamava e i servizi resì un

⁸⁹ *Ibid.*, p. 205.

tempo alla scienza dalla filosofia di S. Tommaso d'Aquino, e quelli che in avvenire potrà renderle? Risulta forse da ciò che il non credente non possa, senza aderire implicitamente ad una fede che non è la sua, riconoscere l'accordo della cosmologia scolastica con la fisica moderna? Assolutamente no. La sola conclusione imposta da questi fatti è che la Chiesa cattolica ha contribuito in modo decisivo in diverse circostanze e ancora contribuisce energicamente a mantenere la ragione umana sulla buona strada anche quando questa ragione si sforza di scoprire verità di ordine naturale. Quale spirito imparziale e illuminato, foss'egli non credente, oserebbe negare tale affermazione?⁹⁰.

Del resto le maggiori opere di apologetica tomista pubblicate negli anni in cui Duhem scriveva queste parole, come *Science et Apologétique* di De Lapparent (1905) e *Qu'est-ce que la science?* di Baille (1906) in modo assai significativo non fanno riferimento affatto alla posizione di Duhem, che pure era già uno dei piú prestigiosi intellettuali di dichiarata fede cattolica, a testimonianza di quanto il fossato che negli anni '90 aveva separato Duhem dal neotomismo non si fosse affatto colmato con il passare del tempo.

4. - DUHEM E HERTZ.

Nel panorama della riflessione sulla scienza di fine Ottocento Duhem spicca per una profonda originalità. Solo un pensatore giunse autonomamente su posizioni assai vicine a quelle duhemiane, il grande fisico Heinrich Hertz⁹¹. I suoi celeberrimi contributi alla teoria elettromagnetica e alla meccanica produssero anche una importante svolta di ordine metodologico e, benché le riflessioni epistemologiche di Hertz si riducano a poche pagine, il suo nome è giustamente citato come quello di un fondamentale personaggio delle vicende dell'epistemologia ottocentesca e Braithwaite giunse addirittura a considerarlo il massimo epistemologo del XIX secolo.

In che cosa consista però l'epistemologia di Hertz, questo è argomento di discussione: chi ne fa un neokantiano nemico del fenomenismo, chi un fenomenista, chi un empirista e chi un teorico dei parametri nascosti, chi un critico del linguaggio, chi un meccanicista, chi l'ispiratore della teoria pittografica della conoscenza⁹². Una simile varietà

⁹⁰ Duhem, 1905 b, p. 348.

⁹¹ Sulla figura di Hertz cfr. Hertz, 1927; Jenneck, 1929; Smart, 1951; Cohen, 1956; Tarsitani, 1972; Hertz, 1977.

⁹² Questi giudizi si trovano espressi rispettivamente in Cassirer, 1968, IV;

di giudizi è il sintomo di una difficoltà di fondo che si incontra quando si voglia classificare Hertz entro una definizione specifica, difficoltà che trova la sua origine nel tentativo compiuto da Hertz di comprendere nella propria visione della conoscenza scientifica tutte e tre le grandi concezioni della conoscenza che storicamente si presentano sovente antitetiche l'una all'altra: razionalismo, empirismo e strumentalismo⁹³. Per Hertz nella scienza sono presenti e confluiscono in modo affatto occasionale tre tipi di fattori, l'uno razionale, l'altro strumentale, l'altro ancora empirico. Il problema di fondo non è quello, banale, di riconoscere quella compresenza, ma di distinguere e delimitare con chiarezza i tre fattori.

Scopo della fisica, per Hertz, è la previsione dei fenomeni: noi ci formiamo « immagini » della realtà tali che la previsione compiuta su di esse coincida poi con quanto la realtà evidenzia. Le « immagini » cui Hertz si riferisce non sono da intendersi come qualche tipo di raffigurazione del genere dei modelli tanto volentieri usati dagli inglesi, le immagini di Hertz sono teorie matematizzate: meccanica classica, energetica, nuova assiomatica sono esempi di ciò che Hertz definisce « immagine ». L'immagine è dunque un complesso di astrazioni strutturato, con una molteplicità di relazioni interne.

Quale corrispondenza può stabilirsi tra simili strutture formali e la realtà? Per rispondere a questo interrogativo Hertz comincia, appunto, con il sottolineare che in un'immagine sono sempre presenti tre tipi di fattori, quelli derivanti dalla necessità del pensiero, quelli che nascono dalla esperienza e quelli scelti liberamente per convenzione. Corrispondentemente le teorie devono essere sottoposte a tre tipi di prove: la permissibilità logica, la prova della correttezza, cioè della concordanza con gli esperimenti e quella della appropriatezza, cioè della maggiore semplicità possibile.

Storicamente, gli scienziati si interessano dapprima della correttezza di una teoria ma, poiché l'immagine non è un'impronta diretta, un riflesso immediato della realtà, bensì implica di necessità l'intervento del filtro compiuto dal nostro pensiero, sempre le immagini si rivelano inficcate da oscurità, da carenze logiche che rendono la prova della correttezza assai problematica. Una volta che gli scienziati, partendo dall'espe-

Mach, 1968; Poincaré, 1902; Bellone, 1973; Pasquinelli, 1964; Rey, 1907 a; Braithwaite, 1966.

⁹³ Il testo fondamentale di riferimento è naturalmente la introduzione di Hertz alla *Mechanik* del 1894 (le citazioni sono tratte dalla trad. ingl. Hertz, 1956).

rienza, hanno eretto una prima grossolana immagine avendo quale prioritario interesse quello di giungere ad una teoria corretta, allora deve intervenire la critica logica, l'immagine deve essere cioè sottoposta alla prova della permissibilità, per tentare di rendere chiara e priva di ambiguità la struttura teorica.

Soltanto quando quest'opera è compiuta si può eseguire in modo definitivo anche la prova della correttezza, perché il confronto con l'esperienza di un'immagine è decidibile senza ambiguità solo se l'immagine è un'immagine chiara. Il rigore logico permette il rigore sperimentale: « Senza ambiguità noi possiamo decidere se una immagine è corretta o no »⁹⁴. La conquista del rigore logico nelle teorie più importanti fu considerato da Hertz compito storico fondamentale: « La scienza matura considera la chiarezza logica di primaria importanza: solo immagini logicamente chiare essa mette alla prova della correttezza, solo immagini corrette essa mette alla prova della appropriatezza »⁹⁵.

Al tentativo di chiarificazione logica delle teorie furono dedicati i due grandi capolavori teorici di Hertz, relativi alla teoria di Maxwell e ai principi della meccanica. Soprattutto in *Die Prinzipien der Mechanik* Hertz dimostrò di avere tanto a cuore il problema della rigorizzazione della teoria da lasciare decisamente in secondo piano il problema del confronto con l'esperienza e della semplicità, riuscendo a costruire una formulazione della meccanica che rappresentava per molti versi una chiarificazione concettuale notevole rispetto a teorie precedenti, ma che era anche assai macchinosa e difficilmente rapportabile al mondo dei fenomeni.

Non a caso Duhem scese quest'opera come il più convincente esempio della tendenza dominante nella scienza tedesca ad interessarsi unicamente del rigore logico⁹⁶.

In questo suo attacco Duhem fu certamente ingiusto con Hertz perché finse di dimenticare completamente che se lo scienziato tedesco in *Die Prinzipien* si era concentrato esclusivamente sul problema del rigore logico, nei suoi fondamentali lavori sulla teoria elettromagnetica aveva dimostrato anche una geniale abilità nel mettere in rapporto teorizzazione e sperimentazione. Ma fu ingiusto soprattutto perché sottolineando quanto lo divideva da Hertz egli ~~m i s c o n o s c e v a t o t a l m e n t e~~

⁹⁴ *Ibid.*, p. 3.

⁹⁵ *Ibid.*, p. 10.

⁹⁶ Duhem, 1915 a.

la circostanza che tra tutti i pensatori di fine Ottocento Hertz era stato quello che piú di ogni altro aveva assunto una posizione epistemologica prossima a quella duhemiana.

Hertz condivise con Duhem almeno due idee epistemologiche fondamentali. La prima è costituita dalla convinzione che la scienza è composta, piú che da proposizioni isolabili, da teorie, da complessi di proposizioni organicamente collegate tra di loro, e che pertanto l'unico raffronto sensato con l'esperienza che possa essere compiuto è quello che riguarda una intera teoria ben strutturata e un complesso di fenomeni⁹⁷.

La seconda è l'idea secondo cui nella costruzione della teoria lo scienziato procede in modo indipendente dall'esperienza, costruisce un proprio mondo possibile che è confrontabile con il mondo reale solo quando il lavoro di edificazione teorica è stato concluso e che pertanto costruzione di una teoria e suo confronto con l'esperienza rappresentano due momenti ben distinti del lavoro scientifico e due problemi epistemologici parimenti differenti.

È fuor di dubbio che l'importanza di queste due idee è tale da poter accomunare sensatamente Hertz e Duhem entro confini che li discriminino tanto dal modellismo anglosassone, criticato da entrambi, quanto dal fenomenismo induttivista di ispirazione machiana. Vi è tuttavia una terza idea, cui le prime due non sono necessariamente collegate, ma che è di pari valore epistemologico, per la quale è difficile valutare fin dove giunge l'accordo fra i due pensatori. Per Duhem una parte, a volte la piú ingente, della teoria non ha portata empirica diretta, non tutte le proposizioni di una teoria sono suscettibili di un'interpretazione diretta, non tutte le relazioni della teoria hanno una corrispondente relazione nella realtà. Ad Hertz, invece, è stata attribuita una concezione alternativa, secondo la quale vi è un isomorfismo tra l'intera struttura della teoria e la strutturazione del reale, ogni relazione della teoria ha una corrispondente relazione tra enti reali. Che il linguaggio possa parlare della realtà solo se esiste questo isomorfismo tra struttura logica

⁹⁷ Questa idea si evince con gran chiarezza dalla sua opera ma raramente è enunciata esplicitamente e quando lo è, la forma dell'enunciazione è assai scarna. Ad esempio: «È vero comunque che ciascuna formula separata non può essere verificata singolarmente dall'esperienza, ma solo il sistema come un tutto...» (Hertz, 1962, p. 197).

delle proposizioni e struttura logica dei fatti che quelle proposizioni vogliono esprimere è l'idea base della concezione pittografica del linguaggio che si evince dal *Tractatus* di Wittgenstein, per quanto la ben nota ermeticità di questo testo consenta sempre e soltanto interpretazioni da assumere con estrema prudenza, e nel *Tractatus* Wittgenstein cita la meccanica di Hertz come modello di teoria scientifica che possiede la stessa struttura logica della situazione rappresentata:

La proposizione è un'immagine di una situazione solo nella misura in cui è articolata logicamente ... Nella proposizione dev'essere da distinguere esattamente tanto, quanto è da distinguere nella situazione che essa rappresenta. Ambedue devono possedere la medesima molteplicità logica (matematica). (Cfr. la *Meccanica* di Hertz sui modelli dinamici)⁹⁸.

Ciò costituì una potente spinta a interpretare Hertz secondo Wittgenstein e ad attribuirgli una concezione pittografica delle teorie. Il pensatore d'ambiente neopositivista che maggiormente ha apprezzato Hertz è stato Braithwaite, che del fisico tedesco ha dato appunto un'interpretazione ottenuta attraverso il filtro di Wittgenstein. A parere di Braithwaite, Hertz ha sostenuto l'esistenza di una corrispondenza tra struttura formale dell'immagine (o teoria) e struttura formale della realtà: « Hertz sostiene, contro coloro i quali richiedono che la realtà rassomigli alle nostre raffigurazioni di essa, che l'unica rassomiglianza richiesta è quella della struttura formale »⁹⁹. Questa corrispondenza viene specificata da Braithwaite interpretando il rapporto tra immagine e realtà alla stregua del rapporto che egli istituisce tra teoria e modello quali due differenti interpretazioni dello stesso calcolo. Ora, una delle caratteristiche più rilevanti della interpretazione di Braithwaite dei rapporti tra teoria e suo modello è quella di istituire un rapporto *biunivoco* tra i due termini:

Una teoria e un modello per essa, o un modello e una teoria per la quale esso è modello, hanno la stessa struttura formale, poiché entrambi sono rappresentati dallo stesso calcolo. Vi è una relazione *biunivoca* tra le proposizioni della teoria e quelle del modello; proposizioni che sono conseguenze logiche di proposizioni della teoria trovano, nel modello, i propri correlati che sono conseguenze logiche dei correlati nel modello di queste ultime proposizioni nella teoria, e viceversa¹⁰⁰.

⁹⁸ Wittgenstein, 1974, prop. 4.032 e 4.04.

⁹⁹ Braithwaite, 1966, p. 88.

¹⁰⁰ *Ibid.*, pp. 86-7 (spaz. mic).

Da questo, allora, deriva che per Braithwaite la corrispondenza di strutture tra immagine e realtà in Hertz è una corrispondenza *biunivoca*, nella quale ogni relazione della teoria corrisponde ad una relazione esistente realmente. In questo modo si avrebbe una relevantissima differenza tra Duhem e Hertz su un punto di fondamentale importanza: là dove l'uno ammette un vasto ambito alla libertà, alla convenzione nel corpo delle teorie, l'altro sarebbe in definitiva il sostenitore di una concezione marcatamente realista, nella quale ogni parte della teoria dovrebbe avere una controparte nella realtà. Questa interpretazione può trovare appoggio in talune brevi affermazioni contenute nella introduzione ai *Prinzipien der Mechanik* dalle quali traspare l'idea che il fine del lavoro di semplificazione che si compie su una teoria logicamente rigorosa e corretta è quello di eliminare relazioni « superflue » non esistenti in natura e presenti solo nell'immagine, che pertanto ogni semplificazione avvicini la teoria della realtà, e quindi che la teoria più semplice sia anche quella che comprende solo relazioni che hanno una corrispondenza nella realtà. Ma queste osservazioni, che Hertz compie in forma assai poco articolata, si scontrano con altre, ad esempio con la sottolineatura, compiuta a più riprese, secondo cui la convinzione che un sistema semplice sia più corretto di uno complicato è da assumersi per convenzione, non è in alcun modo provabile. Inoltre, e questa è la considerazione più importante da farsi, l'esame dell'opera di Hertz porta inevitabilmente a dire che l'esistenza di una teoria semplicissima che si pone in corrispondenza « pittografica » con la realtà è un ideale per un futuro lontano della scienza, che le teorie attuali sono ben lungi da esso.

La meccanica di Hertz, infatti, è uno dei più grandi esempi di teoria costruita inizialmente come puro schema matematico che non ha e non vuole avere la pretesa di rappresentare alcunché. La formula ricorrente con cui vengono presentati concetti e relazioni è *wir können und wollen setzen*, formula alla quale si appigliò Duhem per sostenere che nella teoria di Hertz l'interesse per la formulazione di un rigoroso schema matematico aveva totalmente oscurato quello per la portata empirica.

L'esperienza resta completamente estranea alle considerazioni del primo libro — scrive Hertz riferendosi alle definizioni di tempo, spazio e massa —. Tutti gli enunciati che vi si riferiscono sono giudizi *a priori* nel senso di Kant. Essi si basano sulle leggi dell'intuizione interna e sulle forme della logica individuale di colui che

li esprime; non hanno altre relazioni con l'esperienza esterna dello stesso, che quelle inerenti in tutti i casi a queste intuizioni e forme ¹⁰¹.

La stessa introduzione delle masse nascoste, una delle piú rilevanti caratteristiche dell'opera hertziana che consentí l'eliminazione dell'« oscuro » concetto di forza, fu compiuta da Hertz come atto convenzionale, senza pretesa di cogliere con essa alcuna realtà profonda. Per Hertz, infatti, la semplice descrizione dei fenomeni non è possibile; la necessità di inquadrare l'universo entro leggi ci impone di aggiungere enti nascosti a quanto vediamo, e la creazione di questi enti è appunto l'origine della componente convenzionale che presenta la scienza ¹⁰². Le masse nascoste e gran parte delle relazioni assunte convenzionalmente come esistenti tra di esse rappresentano enti e relazioni « superflue », ma evidentemente indispensabili (almeno in quel momento storico) per una teoria meccanica rigorosa.

A mio avviso, dunque, Hertz e Duhem condivisero tre idee cardine della epistemologia contemporanea: 1) l'elemento significativo del discorso scientifico è la teoria, non la singola legge; 2) l'unico raffronto sensato che si possa fare in scienza è tra una intera teoria e un complesso di fenomeni; 3) ogni teoria è composta anche da parti che non possiedono alcuna interpretazione empirica diretta, ma hanno soltanto scopi interni alla teoria stessa.

Non credo che i due scienziati si siano influenzati a vicenda. Hertz sicuramente non lesse gli articoli di quello che, lui vivente, era ancora un giovane e oscuro insegnante di un'università francese di provincia; Duhem lesse naturalmente i lavori scientifici di elettromagnetismo di Hertz, ma quando, nel 1894, il tedesco pubblicò le sue riflessioni epistemologiche, il francese era già giunto, come si è visto al capitolo secondo, a fissare le grandi linee della propria epistemologia.

Quelle tre idee, tuttavia, furono espresse dai due studiosi con modalità profondamente differenti. Duhem ne parlò in modo chiaro, diffuso, articolato, ne fece il nucleo di una grande battaglia epistemologica; Hertz ne trattò in poche pagine, in maniera estremamente sintetica e non molto chiara. È questo un motivo che, a mio avviso, è sufficiente, al di là di ogni priorità cronologica peraltro favorevole a Duhem, a collocare lo studioso pa-

¹⁰¹ Hertz, 1956, p. 45. Queste parole suscitavano naturalmente l'entusiastica approvazione del neokantiano Cassirer (Cassirer, 1968, IV, p. 171).

¹⁰² Hertz, 1956, p. 25.

rigino su di un livello differente nella storia dell'epistemologia perché tra i due intercorre la differenza che separa chi ha avuto solo geniali intuizioni da chi è riuscito anche ad articularle in centinaia di pagine.

Sicuramente la grande importanza del lavoro propriamente scientifico di Hertz ha rappresentato una potentissima cassa di risonanza per le sue brevi notazioni epistemologiche e grazie all'Hertz scienziato anche l'Hertz epistemologo ha potuto avere, soprattutto nell'ambiente tedesco, una grande influenza. Hertz fu un alleato di Duhem nella sua battaglia contro l'induttivismo, anche se per molti anni fu ancora Mach a dominare in Germania e Austria. Le parole con cui Cassirer individuava il nuovo indirizzo inaugurato in Germania da Hertz potrebbero essere ben adattate anche a Duhem:

Le concezioni puramente astratte, che noi incontriamo ad ogni passo nella costruzione delle teorie fisiche, non potevano più essere considerate opportuni espedienti; dovevano essere studiate nel loro contenuto particolare ed essere provate, indipendentemente da considerazioni od opportunità. Anche se si continuò a chiamare «immagini» i concetti fondamentali della fisica teorica, per scansare con ciò *a priori* il pericolo di un'interpretazione ontologica, si fu costretti a concedere a queste immagini un contenuto puramente teorico e perciò «obiettivo». Lungi dall'essere pure addizioni arbitrarie a ciò che era dato dall'osservazione immediata, essi divennero fattori essenziali, in base ai quali, soltanto, era possibile connettere organicamente i singoli dati, fondendoli in un sistema risultato dall'esperienza¹⁰³.

¹⁰³ Cassirer, 1968, IV, pp. 165-6.

CONCLUSIONE: DUHEM DOPO DUHEM

1. - Giunti al termine di un libro sulla figura di un pensatore complesso e importante come Duhem nasce spontaneo il desiderio di iniziare subito un altro su Duhem dopo Duhem, sulle sorti della sua opera nella cultura a lui successiva. Pur resistendo alla tentazione di comprimere in queste pagine finali un argomento che richiederebbe, appunto, lo spazio e le ricerche necessari a un nuovo libro, mi pare impossibile esimermi dal fare alcune brevissime considerazioni sulla questione che piú mi sembra lasciar perplessi: per quali motivi, mentre nel campo della storia della scienza e della termodinamica l'opera di Duhem è sempre stata sufficientemente apprezzata, nel campo della filosofia della scienza egli è stato per lungo tempo un « dimenticato »? Per quale motivo vi è stata una gigantesca differenza tra l'influenza avuta dall'epistemologia machiana e quella duhemiana, se Duhem, a parere di chi scrive, fu epistemologo piú acuto di Mach?

Questo è un problema che nessuno ha sino ad ora affrontato, eppure mi pare un problema che coinvolga una sfera d'interesse assai piú ampia di quella relativa al personaggio Duhem e giunga ad investire una larga porzione della storia della filosofia della scienza del nostro secolo.

È venuto di gran moda in questi ultimi anni parlare di una « rivoluzione » che avrebbe investito gli studi di filosofia della scienza¹, grosso modo a partire dalla fine degli anni '50, mutandone profondamente l'orizzonte di problemi e di soluzioni entro cui essi si erano mossi nel pe-

¹ Cfr. Hesse, 1980.

riodo dominato dal neopositivismo e dal falsificazionismo di prima maniera. In un recente articolo² Paolo Rossi ha parlato di « rivoluzione immaginaria » a questo proposito, in quanto rivoluzione frutto di una visione del tutto inadeguata delle vicende della filosofia della scienza novecentesche ed ha invitato i filosofi della scienza e soprattutto gli storici a ripercorrere con serietà i sentieri, sovente tortuosi e poco visibili, dell'epistemologia contemporanea, affinché il tanto auspicato e chiacchierato matrimonio tra storia della scienza e filosofia della scienza³ non si riduca a matrimonio di convenienza.

Rossi si è appoggiato, quale esempio per sostenere la propria tesi, al testo di Fleck⁴, che consente di mettere in luce una serie di tematiche che avrebbero costituito altrettante pretese svolte rivoluzionarie nell'epistemologia post-neopositivista e che, al contrario, erano già presenti nell'ambiente del neopositivismo, anche se la *standard view* della storia della filosofia della scienza del Novecento le ha totalmente ignorate. Il caso di Duhem mi pare si presterebbe assai bene ad una operazione simile. Nelle pagine che precedono si sono messe in luce molte idee presenti in Duhem che hanno anticipato temi attualissimi. Ad esempio, si è visto che sin dal 1892 Duhem ha espresso con chiarezza estrema l'idea cardine del falsificazionismo metodologico sofisticato, cioè l'idea che la falsificazione di una teoria è storicamente attuata solo in forza dell'esistenza di una teoria migliore. Con osservazioni di questo tipo, che pure hanno un loro intrinseco valore storiografico, non intende certo sostenere che il falsificazionismo ha saccheggiato Duhem facendosi poi bello con le sue piume (questo è un problema di onestà, di buona fede o, più semplicemente e probabilmente, di ignoranza). Voglio invece sottolineare che una frettolosa e superficiale ricerca storica finisce inevitabilmente per impedire la comprensione delle vicende della cultura del novecento. È un problema poco interessante, infatti, o comunque un problema che interessa solo i biografi di Popper e Lakatos, sapere se costoro siano giunti a certe idee autonomamente oppure leggendo Duhem e nascondendo poi la propria fonte; ciò che mi pare invece interessante è cercare di capire come mai certe idee diffuse già da quasi un secolo abbiano potuto essere accolte come idee nuove. Questo è un problema

² Rossi, 1981.

³ Cfr. su questo tema anche Rossi, 1972; Giere, 1973; Wartofski, 1976; Toulmin, 1977.

⁴ Fleck, 1980.

che non riguarda evidentemente i biografi di questo o quell'epistemologo, ma investe il giudizio complessivo sulla storia della cultura novecentesca. È chiaro però che questa questione si può porre e risolvere solo se si fa uno sforzo storiografico rinnovato per capire quali fossero le idee diffuse durante il periodo della « crisi delle scienze » e come queste siano poi trapassate, o non siano trapassate affatto, alle generazioni successive.

Se, tanto per restare all'esempio precedente, si scopre che l'idea cardine del falsificazionismo metodologico sofisticato non era presente solo in Duhem ma, niente di meno, era un luogo comune anche nella cultura del neotomismo, che cosa se ne deve dedurre? Ritengo poco interessante dedurre che Popper e Lakatos non abbiano studiato a fondo la collezione degli *Annales de philosophie chrétienne* o (ipotesi assai meno probabile) che l'abbiano letta ma abbiano tenuto celate le proprie fonti. Ritengo però interessante (oltreché inevitabile) dedurre che se una simile idea era diffusa persino in ambiente neotomista e se essa ha poi potuto ripresentarsi in questi ultimi anni agli occhi di tutti come grossa novità, è evidente che le nostre abituali e consolidate idee sulla evoluzione del pensiero legato a problematiche scientifiche del nostro secolo vanno almeno in parte riviste.

A me pare che gli sviluppi successivi alla prima guerra della filosofia della scienza solo parzialmente rappresentino un tentativo di andare oltre i problemi aperti della riflessione critica sulle scienze d'inizio secolo perché l'opera di almeno uno dei principali rappresentanti di quel movimento, Duhem appunto, non fu né ben conosciuta né discussa nei suoi termini reali.

2. - Com'è ben noto, la filosofia interessata a problematiche scientifiche di gran lunga più importante nella prima metà del secolo è stata quella neopositivista. Questa filosofia si è caratterizzata in primo luogo come antimetafisica, ha incentrato il proprio programma sulla lotta alla metafisica che si trova indebitamente nascosta entro le teorie scientifiche e nei discorsi apparentemente scientifici. Era questo un tema di schietta derivazione machiana che per i neopositivisti trovava piena e potente esemplificazione nelle vicende del pensiero scientifico a cavallo tra Ottocento e Novecento. I profondi rivolgimenti avvenuti nella fisica di quel periodo, in particolare la comparsa della relatività di Einstein, furono interpretati come definitiva dissoluzione dell'apriori kantiano. La « crisi del meccanicismo » fu considerata come l'irreparabile crollo di ogni concezione realista delle teorie scientifiche, atto finale della battaglia ma-

chiana contro l'ontologizzazione dei concetti scientifici. Anche Duhem fu letto (quando non fu semplicemente ignorato) con gli occhiali di Mach e a quest'ultimo accomunato nella lotta contro il realismo di impronta razionalista nel nome del fenomenismo, dell'induttivismo e dello strumentalismo.

Ora, una delle tesi piú importanti che confido di aver dimostrato nelle pagine precedenti è quella della insufficienza di una caratterizzazione storica e filosofica della crisi del meccanicismo quale trapasso dall'ontologismo allo strumentalismo teorico. Questa caratterizzazione va delimitata all'ambiente di lingua tedesca, e questo spiega per quali ragioni ebbe tanto successo in ambito neopositivista, ma è del tutto fuorviante se riferita alla Francia, ove la polemica contro la pretesa delle strutture teoriche a essere copia delle strutture del reale era stato uno dei piú importanti e caratteristici, se non il piú importante e caratteristico tema della epistemologia dell'età positivista.

L'epistemologia di Duhem non si caratterizzò affatto per una critica alla eccessiva fiducia nel potere esplicativo delle teorie, ma, all'opposto, per una rivalutazione del ruolo delle teorie, già abbondantemente svilite dagli scienziati francesi della seconda metà del secolo. L'aver confuso, sotto questo aspetto importantissimo, la posizione di Mach con quella di Duhem fu un peccato veniale da parte degli studiosi dei primi decenni del secolo a fronte della gravità del peccato di chi ancor oggi continua a operare una simile confusione, ma fu comunque un peccato destinato a avere ripercussioni a lungo termine.

Tradotto nell'ottica machiana e ridotto al rango di ripetitore in lingua francese di Mach, Duhem doveva inevitabilmente venir recepito dai neopositivisti in modo distorto e parziale. In particolare non vennero recepite le reali novità, il reale obiettivo della epistemologia duhemiana: la critica della base empirica e la visione articolata e complessa del rapporto tra teoria e esperienza che da quella critica discendeva. Eppure erano proprio questi i temi che piú stavano a cuore a Duhem, temi che, a mio avviso, consentono di mettere a fuoco quello che fu il reale nucleo della profonda modificazione apportata dal « convenzionalismo francese » entro le concezioni positiviste. La reale linea di demarcazione, infatti, che consente di separare la concezione positivista della scienza da quella propria di quel multiforme movimento di pensiero che si suole indicare con il termine « convenzionalismo » è costituita non dalla visione strumentale delle teorie, comune a entrambe, ma dalla nuova nozione di esperienza. Per il positivismo di fine secolo la nozione

di esperienza era divenuta nozione aproblematica e la natura dei responsi sperimentali, delle loro funzioni di conferma o di smentita delle teorie, ipersemplificata e con ciò artificiosamente dotata di una saldezza e di un valore definitivo del tutto illusori. Il convenzionalismo divenne una concezione realmente alternativa al positivismo solo quando criticò questa nozione dimostrando l'ineliminabile presenza teorica entro ogni resoconto osservativo e, di conseguenza, proponendo un ben piú articolato modello dei rapporti che intercorrono tra ipotesi teoriche e loro controlli empirici. Mantenendo la discussione al livello delle teorie la critica non avrebbe mai prodotto una concezione di scienza radicalmente alternativa al positivismo. Solo quando venne investito il problema della base empirica la concezione ottocentesca di scienza cominciò la sua definitiva parabola discendente. Per questo motivo io ritengo che Duhem piú di Poincaré, che ben poco ebbe da dire (anche se quel poco che disse divenne famoso) circa la base empirica, debba esser considerato il piú acuto e decisivo critico della scienza positivista. E questa, io spero, è un'altra tesi di non poco conto dimostrata nel presente studio.

3. - Queste reali novità della critica duhemiana, si è detto, non vennero recepite dalla cultura neopositivista, impegnata a leggere le vicende recenti dell'impresa scientifica e della riflessione su di essa influenzata dall'ambiente tedesco e da Mach in particolare. Mentre l'epistemologia di Duhem era una terribile « macchina da guerra » contro le pretese dell'induttivismo e del fenomenismo anti-teorico, l'epistemologia neopositivista si orientò machianamente, seppur con la potente alleanza della logica formale, in direzione esattamente opposta. Il problema fondamentale in tutta la fase iniziale del movimento neopositivista fu quello di trovare un fondamento empirico per tutti i concetti scientifici⁵. Poter dimostrare che tutti concetti genuinamente scientifici sono traducibili interamente in termini di un linguaggio empirico o addirittura fenomenico, costruire una teoria della verità rigorosamente empirista che dimostri l'eliminabilità in linea di principio di tutti i termini teorici, questo è un problema centrale tanto nella *Allgemeine Erkenntnistheorie* di Schlick, quanto nell'*Aufbau* di Carnap⁶. Si tratta di un problema che l'epistemo-

⁵ Mi sia concesso, per una piú ampia analisi su questo punto, il rinvio a Maiocchi, 1978.

⁶ Schlick pone in evidenza che entro una teoria scientifica possono essere presenti tanto concetti osservativi quanto concetti « ausiliari », ma l'importante è che dai principi della teoria risulti possibile derivare logicamente asserzioni continenti

logia antinduttivista di Duhem aveva dichiarato insolubile, e ben si comprende come in questa epistemologia non si potesse sperare di trovare molti aiuti per la sua soluzione. E infatti Duhem non viene mai citato da Carnap, Reichenbach e Schlick (Neurath rappresenta un caso diverso), e coloro che, come Frank, ne apprezzarono l'opera la rilesero in termini induttivisti⁷.

soltanto concetti osservativi. Essenziale in questa concezione è l'affermazione che attraverso le « definizioni operative », che collegano i concetti di osservazione ai concetti ausiliari, si possono produrre proposizioni che, pur essendo parti della teoria, contengono solo concetti osservativi. Le definizioni operative diventano il mezzo per risolvere la teoria nella base empirica e l'enfasi posta sulla necessità di avere delle chiare definizioni operative permette di reinterpretare Einstein in termini empiristi (Schlick, 1917, p. 84 e ss. Per un bibliografo su Schlick rinviamo a quella contenuta in Barone, 1977, pp. 237-304. In italiano cfr. Schlick, 1974). Posizione simile assunse anche Reichenbach nel suo importantissimo lavoro sulla teoria della relatività, nel quale viene sopra ogni altro aspetto esaltata la circostanza che grazie alle « definizioni coordinative » (le definizioni operative di Schlick) la teoria della relatività è interpretabile in termini strettamente empiristi: « Il significato filosofico della teoria della relatività consiste nel fatto che essa ha dimostrato la necessità di definizioni coordinative metriche in molte situazioni ove precedentemente si erano assunte relazioni empiriche » (Reichenbach, 1977, p. 41). Carnap, con la teoria della costituzione, intende mostrare che tutti i concetti genuinamente scientifici sono risolvibili in proposizioni empiriche (in particolare di tipo fenomenico), che i termini teorici sono in linea di principio eliminabili dalla scienza in quanto hanno una funzione ausiliaria, economica in senso machiano. Cfr. Goodman, 1974.

⁷ Philipp Frank pone in connessione il « nuovo positivismo » di Duhem (cui vengono tranquillamente associati Poincaré e Abel Rey!) addirittura con il campione dell'induttivismo, Hume: « La connessione tra il nuovo positivismo e le vecchie dottrine di Hume e di Comte sta nell'esigenza di interpretare tutti i termini astratti delle scienze — come forza, energia, massa — in termini di osservazioni sensibili. Più esattamente, ogni asserzione in cui compaiono questi termini astratti deve essere interpretata come un'asserzione su fatti osservativi. Mach formulò questo requisito dicendo che tutte le espressioni scientifiche sono asserzioni su osservazioni sensibili » (Frank, 1973, p. 29). Chiedere che tutti i termini astratti della scienza siano interpretabili in termini di osservazioni sensibili significava evidentemente essere fedeli a Mach, ma distorcere profondamente il nucleo centrale dell'epistemologia duhemiana. La stessa sorte toccò a Hertz che, come Duhem, aveva caratterizzato la conoscenza scientifica essenzialmente come impresa teorica e antiinduttiva. Hertz impressionò molto Wittgenstein, che dalla lettura di Hertz derivò soprattutto l'idea secondo cui le teorie scientifiche sono sistemi di proposizioni che definiscono dall'interno il proprio mondo e che la loro applicabilità al mondo reale è una questione che dipende da regole di interpretazione, le quali sono esterne al sistema teorico. Di per se stesso il sistema teorico definisce soltanto un « mondo possibile », che non è detto si possa applicare al mondo reale. I neopositivisti, come hanno mostrato nel loro fondamentale studio Janik-Toulmin, 1975, reinterpretarono Wittgenstein in termini machiani, come il filosofo della demarcazione tra scienza e metafisica fondata sul principio di verifica empirica.

L'originario programma rigidamente empirista non poté essere mantenuto inalterato dal neopositivismo. Vi fu il dibattito sui protocolli, il passaggio dal fenomenismo al fisicalismo, quello dalla verifica alla conferma, la discussione sui termini disposizionali, ecc. Si tratta di una storia lunga, già raccontata molte volte⁸, e che non è certo il caso di rimettere in discussione qui. Ciò che è importante rilevare in questa sede è la circostanza che questi sviluppi condussero ad una concezione più aperta delle teorie scientifiche e in particolare al riconoscimento dell'ineliminabile carattere teorico dei più importanti concetti scientifici. Seguendo un proprio tortuoso e difficile cammino di revisione interna, il movimento neopositivista è giunto a formulare una concezione delle teorie scientifiche, la concezione ipotetico-deduttiva, che ha una evidentissima somiglianza con quella esposta da Duhem⁹. Con questa osservazione non intendo certo sostenere che il pluridecennale lavoro dei pensatori

rica ottenuta attraverso la riduzione di proposizioni complesse a proposizioni atomiche, intese come fattuali. Inevitabilmente essi rilessero anche Hertz, quando ne notarono l'importanza, cosa che non sempre accadde, in un'ottica fenomenista, e non notarono tra la sua epistemologia e quella di Mach alcuna sostanziale differenza. Così Frank afferma, senza ulteriori problemi, che « Hertz, Mach, Duhem e altri avevano visto che il punto essenziale in tutte le spiegazioni della natura non è tanto il modello meccanico, quanto lo stabilimento di rapporti matematici ... I campioni dell'atomismo ... concordavano pienamente con Mach e Hertz sulla natura generale di una teoria fisica » (Frank, 1973, pp. 157-8). Il fatto però che fosse tedesco e che fosse citato da Wittgenstein contribuì se non altro a fare di Hertz un personaggio più famoso di Duhem in questi ambienti e tutta la cultura successiva derivata dal neopositivismo terrà in gran conto questo personaggio, attribuendogli meriti che in realtà furono di Duhem. La scarsissima considerazione in cui venne tenuto Duhem dai neopositivisti è confermato dal recente Parrini, 1983, che, occupandosi proprio del rapporto tra neopositivismo e convenzionalismo, quasi non cita neppure il nome di Duhem.

⁸ Per una bibliografia sulla storia del neopositivismo si rinvia a quella contenuta in Barone, 1977, cui vanno aggiunti almeno Jacob, 1980 e Parrini, 1980.

⁹ Basterà, per convincersene, rileggere una celebre pagina di Hempel: « Una teoria scientifica è pertanto paragonabile a una complessa rete sospesa nello spazio. I suoi termini sono rappresentati dai nodi, mentre i fili colleganti questi corrispondono, in parte, alle definizioni e, in parte, alle ipotesi fondamentali e derivate della teoria. L'intero sistema fluttua, per così dire, sul piano dell'osservazione, cui è ancorato mediante le regole interpretative. Queste possono venir concepite come fili non appartenenti alla rete, ma tali che ne connettono alcuni punti con determinate zone del piano di osservazione. Grazie a siffatte connessioni interpretative, la rete risulta utilizzabile come teoria scientifica: da certi dati empirici è possibile risalire, mediante un filo interpretativo, a qualche punto della rete teorica, e di qui procedere, attraverso definizioni e ipotesi, ad altri punti, dai quali, per mezzo di un altro filo interpretativo, si può infine ridiscendere al piano dell'osservazione » (Hempel, 1961, pp. 46-7).

di ispirazione neopositivista sia stato inutile in quanto, alla fin dei fini, essi sono ritornati a dire quanto già diceva Duhem. Sarebbe ridicolo non riconoscere l'enorme mole di risultati preziosi in campo epistemologico che le minuziose e rigorose analisi (ben piú rigorose e minuziose di quelle di Duhem, che mai impiegò la logica formale) hanno prodotto. Voglio soltanto rimarcare che il neopositivismo ispirandosi a Mach non recepí di Duhem, oltre che la critica alla base empirica, anche quello che ne era il diretto corollario, cioè una concezione del rapporto tra schemi teorici ed esperienza articolato a piú livelli, salvo approdare poi ad una posizione assai vicina a quella duhemiana. Quanto si trovava a questo proposito ben presente in Duhem, e che è stato analizzato nel terzo capitolo, sarà successivamente visto dal neopositivismo come propria scoperta. Così Frank, trattando delle « condizioni della filosofia immediatamente prima che sorgesse il positivismo logico » afferma:

Non si riusciva assolutamente a comprendere che occorreva distinguere tra un sistema strutturale avente esattezza logica con il mondo dei fatti che sono descritti con una certa vaghezza, e le definizioni operative, che connettono i due campi, e che partecipano tanto della precisione del primo, quanto della vaghezza del secondo¹⁰.

Tutta l'epistemologia di Duhem, al contrario, era giustappunto una riflessione che partiva dalla netta demarcazione tra schemi teorici e « fatti pratici » e si poneva il problema del loro possibile rapporto tramite definizioni operative.

4. - Anche Karl Popper, il grande avversario del neopositivismo, che pure intervenne nel dibattito sulla base empirica sostenendo l'impossibilità di individuare proposizioni garantite in modo assoluto dalla osservazione, criticando a fondo l'induttivismo fenomenista che caratterizzava il primo neopositivismo e ponendosi come interlocutore del convenzionalismo, nella sua *Logik* del 1934 non pare aver molto ben presente la critica duhemiana.

Questo testo, come quelli neopositivisti, si colloca totalmente in ambiente tedesco e risente delle preoccupazioni fondamentali di quel clima; allorquando prende in considerazione le tematiche convenzionaliste, il convenzionalismo che viene discusso è, per l'appunto, il conven-

¹⁰ Frank, 1973, pp. 58-9.

zionalismo tedesco di Hugo Dingler, di Cornelius¹¹, un convenzionalismo che esaltava soprattutto la nozione di semplicità delle teorie e trascurava l'indagine sulla base empirica o, se se ne occupava, lo faceva con un approccio filosofico-psicologico, sotto l'influsso di suggestioni derivanti da Mach, Brentano e Husserl, piuttosto che epistemologico. Anche l'analisi che Popper compie della base empirica della scienza è piú filosofica che epistemologica: mentre Duhem aveva sviluppato le proprie indagini studiando casi concreti, storici, di procedure di misurazione scientifica, Popper sviluppa un discorso prevalentemente astratto o tratta esempi del tipo « tutti i cigni sono bianchi » o « questo tavolo è bianco »¹², i quali, manifestamente, rientrano in una tradizione piú filosofica che epistemologica e che, comunque, sono ben diversi dagli esempi di epistemologia applicata alla storia tipici di Duhem. Conseguentemente Popper approda a sostenere la convenzionalità della base empirica con argomentazioni e con esiti diversi, per certi aspetti lontani da quelli duhemiani¹³.

¹¹ Dingler, 1926; Cornelius, 1931. Per una piú ampia visione della posizione di Dingler è fondamentale un testo comparso dopo la pubblicazione della *Logik* di Popper: Dingler, 1937. Un'idea generale della variante tedesca del convenzionalismo si può ricavare da Diederich, 1974, anche se non si tratta di un libro di storia.

¹² Popper, 1970, pp. 92 e 95.

¹³ La nozione di base empirica di Popper differisce da quella di Duhem, schematicamente, per i seguenti aspetti: 1) Gli asserti della base empirica per Popper sono « asserzioni sulla cui accettazione o sul cui rifiuto i vari ricercatori possono mettersi facilmente d'accordo » (Popper, 1970, p. 18), mentre per Duhem l'accordo tra due ricercatori a proposito dell'esperienza, dipendendo profondamente dalle convinzioni teoriche dell'uno e dell'altro, non è affatto facile. 2) Popper non giustifica teoricamente come possa avvenire tale accordo, questo è garantito solo pragmaticamente: « Se un giorno gli osservatori non potessero piú mettersi d'accordo sulle asserzioni-base, ciò significherebbe un fallimento del linguaggio come mezzo di comunicazione universale » (*ibid.*, p. 22); per Duhem, proprio perché gli asserti osservativi sono costituiti tramite teorie chiaramente definibili ed enunciabili, essi sono compresi in modo non ambiguo da chiunque conosca le teorie e le procedure sperimentali che sono implicate nella loro produzione; per questo è possibile la comunicazione, per questo è possibile anche l'accordo (o il disaccordo motivato). 3) Per Popper gli asserti-base piú solidi (le fondamenta nella celebre analogia delle « palafitte ») sono quelli meno intrisi di teorie, sui quali piú facile è un accordo, e la ricerca di una maggior solidità è un processo che cerca di uscire dalla teoria verso una base tendenzialmente non teorica scomponendo, analizzando le teorie attuali; per Duhem, invece, la fisica nel corso della storia si è progressivamente, inesorabilmente allontanata da un terreno solido, non intriso di teorie, il terreno delle esperienze piú elementari, degli asserti « facili », condivisi da tutti senza problemi, e solo la storia potrà recuperare questo terreno. Là

Solo ammettendo la mancanza di una conoscenza diretta del pensiero duhemiano (o una sua conoscenza assai superficiale) da parte di Popper nel 1934 si possono spiegare talune sue clamorose sviste, quali l'affermazione seguente: « Duhem nega la possibilità di esperimenti cruciali, perché pensa ad essi come a verificazioni, mentre io asserisco la possibilità di esperimenti cruciali falsificanti »¹⁴. L'errore è evidente perché, come si è visto nel capitolo terzo, e come dimostra in modo lampante il dibattito attuale sulla « tesi Duhem-Quine », l'esito piú eclatante di tutta l'analisi duhemiana della nozione di esperimento fu proprio la negazione della possibilità di compiere esperimenti cruciali falsificanti.

5. - La divaricazione esistente tra l'epistemologia degli anni trenta nei paesi di lingua tedesca e quella duhemiana traeva origine, oltre che dalla differenza di tradizioni e di ambienti, da un preciso carattere culturale che in Duhem è presente in forma assolutamente fondamentale e che era invece totalmente assente nell'epistemologia neopositivista e falsificazionista: il nesso tra epistemologia e storia della scienza. Per Duhem, volendo usare una terminologia moderna, l'epistemologia è sostanzialmente « descrittiva », non « normativa », essa ha senso solo in quanto applicata a casi storici concreti. È lo studio della storia della scienza, pertanto, che deve fornire materiale alla riflessione epistemologica. Non solo, ma la storia della scienza offre alla epistemologia anche suggerimenti, indicazioni circa la vera natura della impresa scientifica. La pura analisi logica, da sola, pare condurre a conclusioni scettiche, ma la storia attenua e addirittura rovescia queste conclusioni. Si è visto a piú riprese come in Duhem la riflessione storica non fosse affatto estrinseca a quella epistemologica e come entrambe si collegassero strettamente alla pratica scientifica, e su questo punto non è qui il caso di ritornare.

Quello che vale la pena di sottolineare in sede di conclusione è la circostanza che per Duhem il legame tra analisi logica e analisi storica, e in particolare il rinvio di problemi epistemologici di fondo, come quello della scelta delle ipotesi, al terreno della storia, nasce in primo luogo dal riconoscimento della natura complessa della scienza che non si lascia ridurre alle sole argomentazioni della matematica e dell'esperienza. La scienza procede *anche* sotto la spinta di argomentazioni, fattori, influen-

dove Popper cerca un legame tra teoria ed esperienza con l'analisi logica, Duhem lo ricerca con l'analisi storica.

¹⁴ Popper, 1970, p. 35 nota.

ze, che la pura analisi logica non è in grado di indagare. La metafisica, le convinzioni metodologiche, l'educazione, i pregiudizi dei vari scienziati sono tutti componenti non trascurabili della storia della scienza, componenti che sfuggono alla analisi epistemologica. Per questo motivo, per capire realmente che cosa è la scienza dobbiamo studiarne anche la storia, comprendendo in essa molto di più del racconto degli sviluppi matematici e sperimentali.

Per questo aspetto la storia di Duhem è profondamente diversa da quella di Mach. In fondo la storia di Mach vuol proprio far vedere che la storia della scienza è raccontabile in termini di esperienze e di rielaborazioni matematiche sempre più raffinate (perché più economiche) di tali esperienze. Ciò che non è né esperienza, né matematica va criticato ed espunto dal racconto come colpa, disturbo; in questo la storia di Mach si presenta come uno dei più alti prodotti della teoria positivista. Ma che altro è questo tipo di storia se non una « galleria » di analisi epistemologiche condotte su ogni singolo autore per cercare di estrarre dalla ganga della sua opera la parte positiva? Ben si comprende come gli eredi di Mach della sua opera, che voleva essere storico-critica, abbiano ripreso solo il versante critico: dal punto di vista storico il Newton di Mach è assai povero, ma quanto penetrante è l'analisi epistemologica (analisi logica, direbbe Duhem) che Mach ha fatto dei principi della meccanica newtoniana!

Nel neopositivismo, anche per l'influenza dell'atteggiamento a-storico di Wittgenstein, ogni interesse per la storia della scienza fu lasciato cadere, l'epistemologia divenne disciplina autosufficiente e solo alla analisi logica si chiese di dare lumi sulla natura della scienza. La preclusione nei confronti del possibile interesse epistemologico della storia rappresentava un ostacolo alla comprensione della epistemologia duhemiana, che della storia non poteva fare a meno. Solo con il ricorso alla storia, ad esempio, Duhem poteva evitare che la propria critica della base empirica sfociasse in un esito scettico, in un convenzionalismo radicale. È questo un problema su cui ci si è già soffermati a lungo ma che merita di venire ancora richiamato perché, a mio avviso, la soluzione prospettata da Duhem è di grande interesse teoretico.

Come si è visto nel capitolo terzo, Duhem aveva criticato la distinzione rigida e astorica propria del positivismo tra teoria e osservazione. Ponendo in rilievo la presenza costante di teorie entro le procedure destinate a fornire le « osservazioni » egli aveva dimostrato la impossibilità di parlare di una scienza puramente osservativa, di una base empirica

non impregnata di teorie. Con questo, tuttavia, egli non intendeva distruggere la nozione di scienza osservativa, negare un carattere empirico alle teorie fisiche, cedere al convenzionalismo scettico e radicale di Le Roy. Ma come mettere d'accordo la natura teorica di ogni proposizione scientifica con il carattere empirico della scienza? La risposta di Duhem a questo interrogativo si fonda sul passaggio da un criterio logico di distinzione tra « teorico » e « osservativo » ad un criterio storico. È vero che ogni osservazione della scienza matura è inevitabilmente intrisa di teorie e quindi dal punto di vista logico non è garantita in modo assoluto, ma la storia provvede in ogni momento storico a fornirci un insieme di affermazioni (la conoscenza di sfondo) che in quel momento si può considerare garantito. Grazie a questo insieme di conoscenze siamo in grado di produrre nuove affermazioni, di confrontarle con l'esperienza e, se il confronto riesce, inglobare anche queste nuove affermazioni nella scienza garantita. Per Duhem la distinzione teorico-osservativo non ha più un significato assoluto, la pura osservazione non esiste in scienza, eppure mantiene un significato storicamente determinato: nel momento in cui si presenta, nessuna affermazione scientifica può considerarsi forse puramente osservativa, ma nel corso della storia essa può divenire osservativa man mano che cresce, sulla base di controlli sempre più soddisfacenti, la fiducia nelle teorie che sono implicate nelle procedure che consentono di confrontarla con l'esperienza. Ciò che deve essere considerato osservativo e ciò che deve essere considerato come teorico variano da epoca ad epoca. Nel corso dei secoli si ha un progressivo allargamento delle leggi che si possono considerare sperimentali.

Questa soluzione storicizzata del problema della base empirica non poteva trovare udienza nell'antistoricista neopositivismo. Questi, nella sua iniziale ricerca di una base sicura per la scienza tramite la riconduzione delle componenti teoriche ad un livello osservativo, ritenne la distinzione tra teorico ed osservativo come assoluta e andò alla ricerca di proposizioni puramente osservative, i fatti atomici di Wittgenstein ritradotti entro l'ottica fenomenista nelle « proposizioni protocollari » del tipo « qui, ora, rosso » o « qui, ora, triangolo rosso », e di procedure mediante le quali legare queste proposizioni a proposizioni interessanti per la scienza. Il celebre dibattito sui protocolli¹⁵ mise in luce l'impossibilità di realizzare felicemente un simile tentativo. Si dovette riconoscere che nella conoscenza scientifica non esiste una distinzione assoluta tra pro-

¹⁵ Per la bibliografia su questo dibattito cfr. Barone, 1977, I, pp. 305-354.

posizioni teoriche e osservative e dal riconoscimento della insostenibilità di questa distinzione si passò immediatamente a negare la possibilità di ogni tipo di distinzione. Nel passaggio al fisicalismo di Neurath¹⁶ l'osservativo venne identificato con il teorico, la verità divenne esclusivamente questione di coerenza tra proposizioni, l'empirismo, asse portante dell'iniziale programma neopositivista, svanì in favore di una forma di convenzionalismo molto radicale che si evidenziò in tutta la « seconda fase » della produzione di Carnap. Ad un atteggiamento come quello neopositivista, completamente sordo ad ogni problematica storica e teso a risolvere le proprie battaglie con l'arma della logica, una distinzione tra teorico e osservativo relativa e storicizzata come quella duhemiana non poteva evidentemente piacere: la critica logico-linguistica dice che non si possono individuare proposizioni puramente osservative da porre alla base della scienza e dunque tale base non esiste.

Circa il nesso tra storia e epistemologia neppure la *Logik* di Popper forniva indicazioni più vicine all'impostazione duhemiana. Per dirla con Lakatos, « la *Logik der Forschung*, nel suo insieme, è aridamente astratta e altamente astorica »¹⁷ e negli anni '30 anche l'influsso di Popper non favorì un avvicinamento tra studi storici ed epistemologici.

6. - La scissione operata tra epistemologia e storia della scienza dal neopositivismo e dal falsificazionismo fu uno dei fattori che più contribuirono all'eclissi di Duhem tra la fine della prima guerra mondiale e la fine degli anni '50. È vero che la tradizione di una epistemologia storica rimase viva in Francia (e anche in Italia con Enriques)¹⁸, ma in campo epistemologico Duhem fu qui comunque attaccato pesantemente¹⁹. Il suo pensiero fu accomunato senza molte distinzioni con l'intero movimento convenzionalista e, con esso, sottoposto a feroci critiche da due punti di vista contrapposti, quello dell'idealismo di Brunschvicg e quello del realismo di Rey²⁰. Entrambi si opposero con decisione alle

¹⁶ Cfr. Neurath, 1968, spec. p. 54 e ss.

¹⁷ Lakatos, 1976 b, p. 393.

¹⁸ L'interesse fortissimo di Enriques per la storia della scienza è testimoniato da numerose opere storiche, nonché da Enriques, 1936.

¹⁹ *Sulle vicende dell'epistemologia francese tra le due guerre* si vedano Redondi, 1975, 1978 a; Vinti, 1977. Dei rapporti tra Duhem e Bachelard si occupa anche Gaukroger, 1976.

²⁰ Su Brunschvicg cfr. Deschoux, 1949; Boirel, 1964, con ampia bibliografia, nonché i numeri speciali dedicati a Brunschvicg dalla « *Revue de Métaphysique*

prospettive metafisiche e religiose presenti nel convenzionalismo e sostennero una filosofia della scienza a carattere laico. Entrambi usarono gli sviluppi della fisica novecentesca, particolarmente la relatività, come grande argomento polemico contro il convenzionalismo, passando frettolosamente dalla constatazione che tanto Poincaré quanto Duhem si erano opposti a quegli sviluppi, alla affermazione che tutta l'epistemologia convenzionalista era in inconciliabile opposizione con la relatività. Per entrambi le teorie novecentesche ponevano in evidenza una concezione di scienza razionalista, conoscitiva, non strumentalista, quindi condannavano il convenzionalismo. Per l'uno si trattava di un razionalismo idealista quello delineato dalla scienza piú aggiornata, per l'altro di un razionalismo realista. L'appello per un nuovo razionalismo, per quanto condotto con un vigore polemico e un accanimento che contribuirono non poco a screditare l'epistemologia di Duhem e di Poincaré, non si risolse però nella messa a punto di epistemologie sistematiche, che precisassero con chiarezza i caratteri di codesto nuovo razionalismo e, da una parte come dall'altra, l'invocazione di un nuovo razionalismo finì per ridursi a retorica. Se si spogliano i lavori di Rey e di Brunschvicg del loro involucro polemico, filosofico e psicologico e si cercano esempi di concrete analisi epistemologiche di casi di storia della fisica, che costituivano movente e prova dell'epistemologia di Duhem, se si cercano chiarezza e sistematicità nell'analisi epistemica, se si cercano cioè categorie epistemologiche precise e penetranti, e su questo si fa un confronto con l'epistemologia di Duhem, credo che il risultato del confronto sia indubbiamente a vantaggio di Duhem. È significativa, a questo proposito, la circostanza che, mentre Duhem aveva messo a punto la propria epistemologia e ne aveva dimostrato la capacità penetrativa, nel confronto diretto con la fisica a lui contemporanea, tanto Rey quanto Brunschvicg, i quali pure con grande enfasi retorica esaltarono il valore epistemologico della fisica novecentesca, produssero le loro analisi piú importanti l'uno nel campo della filosofia della matematica, l'altro nello studio della scienza greca²¹. L'at-

et de Morale », 1945 e degli « Études philosophiques », 1945; su Rey la bibliografia è assai scarsa, cfr. Ducassé, 1940.

²¹ Brunschvicg, 1912; Rey, 1946-48. Le opere di Rey piú famose 1907 a e 1907 b solo apparentemente sono di epistemologia della fisica contemporanea. Il primo lavoro è una rassegna delle posizioni metodologiche espresse da vari pensatori, che esclude l'analisi concreta di casi storici (« un'inchiesta », la definì giustamente Duhem in Duhem, 1908 b), il secondo è interamente condotto sulla base di un apparato categoriale filosofico e soprattutto psicologico, non epistemologico.

tacco condotto da Koyré all'opera storica di Duhem e la nascita della filosofia delle discontinuità concettuali e metodologiche della scienza di Bachelard²², erede della vaghezza propria di Brunschvicg e di Rey, finirono per screditare completamente la figura di Duhem nella cultura francese e a far pesare sul suo nome una pesante ombra che dura tutt'ora. In ogni caso, a livello internazionale la epistemologia francese aperta alla storia rimase nettamente subordinata alla grande scuola neopositivistica, che ben altra chiarezza, ben altro vigore e capacità analitica possedeva.

• 7. - Ora i tempi sono mutati e nell'epoca del post-neopositivismo sulla scorta delle opere di Hanson, Toulmin, Kuhn e tanti altri²³, anche la filosofia della scienza di lingua inglese ha intrecciato legami sempre più fitti con la storia della scienza. Non per caso questo recupero della dimensione storica ha coinciso con il recupero del nome di Duhem, che da Hanson (e poi da molti altri) è tenuto in grande considerazione. Ai modelli di « razionalità scientifica » che l'epistemologia individua si chiede oggi sempre più spesso la capacità di confrontarsi in modo soddisfacente con la storia; il loro insuccesso, la loro dimostrata incapacità a spiegare rilevanti casi storici sono considerati argomenti decisivi di confutazione. Il problema fondamentale attorno cui ruotano le più importanti discussioni di filosofia della scienza attuali è quello della esistenza o meno di un modello di razionalità in grado di farci comprendere la dinamica storica dell'impresa scientifica.

In generale si va alla ricerca di un modello metastorico, assoluto, valido in ogni epoca e in ogni circostanza, di quello che è un razionale mutamento scientifico, così come erano metastorici i criteri di scientificità proposti in precedenza da neopositivismo e falsificazionismo. Quali indicazioni a questo riguardo possiamo trarre da Duhem? Come si è visto al capitolo quarto, l'opera di Duhem manifesta a questo proposito una grandissima ambiguità. Da un lato l'opera storiografica di Duhem dimostra quanto sia fecondo un approccio storico che parta da una raffinata concezione epistemologica, un articolato modello di razionalità scientifica. Grazie alla sua critica all'epistemologia positivista Duhem fu in grado di produrre una storia della scienza enormemente più ricca, movimentata, interessante e profonda di quella positivista, storia in cui riac-

²² Per la bibliografia assai vasta su Bachelard si rinvia a Redondi, 1978 a.

²³ I riferimenti sono qui ovviamente Hanson, 1973, 1978; Toulmin, 1953, 1972; Kuhn, 1969.

quistavano un senso problemi che lo storico positivista era costretto a rinviare alla « storia esterna », ad esempio la discussione e il rifiuto di certe osservazioni pretese cruciali e l'ostinazione a mantenere in piedi una teoria apparentemente condannata dall'esperienza. Dall'altro lato, però, la storia di Duhem manifesta anche come il privilegiamento di un particolare modello di razionalità, quello che egli traeva da una riflessione sui piú recenti sviluppi della termodinamica, finisca per costruire un quadro inflessibile in cui si è costretti a forzare la complessità della storia in modo inaccettabile. In particolare il carattere continuista del modello duhemiano, carattere originato dallo studio della termodinamica e poi investito di una grande portata apologetica e filosofica, divenne, anziché un criterio metodico di ricerca, un obiettivo da raggiungere a tutti i costi, anche al prezzo di pesanti aggiustamenti *ad hoc*. Il modello di razionalità duhemiano da guida per la ricerca storica finì per trasformarsi in divinità cui sacrificare il lavoro dello storico.

Non che quel modello fosse « vuoto »: era, lo ripetiamo, un modello che rifletteva un particolare stadio di una particolare disciplina, la termodinamica fenomenista degli ultimi decenni dell'Ottocento. Generalizzandolo, assolutizzandolo, rendendolo astorico, Duhem ne fece un ostacolo alla comprensione dell'intera complessità dell'impresa scientifica. E fu un ostacolo che ostruì non solo la strada della ricerca storica, ma anche quella della concreta attività di scienziato. Fu infatti fondamentale per ragioni metodologiche che Duhem si oppose tanto alla teoria di Maxwell quanto alla teoria cinetica dei gas, due teorie, queste, che non si lasciavano inquadrare entro il modello di razionalità scientifica ricalcato sulla termodinamica.

8. - Proprio le vicende di Duhem scienziato, sostenitore della termodinamica e avversario dell'atomismo, forniscono, credo, un potente argomento contro la pretesa di individuare un criterio di scientificità metastorico. Chi voglia raggiungere un simile obiettivo, infatti, si trova imbarazzato a dover ammettere che negli scontri tra programmi di ricerca rivali possano avere una influenza determinante le convinzioni metodologiche: se le convinzioni metodologiche hanno un peso effettivo sull'opera degli scienziati, allora questi ultimi si comporteranno, almeno parzialmente, in accordo con tali convinzioni e il loro comportamento risulterà perciò poco comprensibile a chi sostenga un canone di scientificità differente. L'unica soluzione per coloro che vogliano sostenere la validità astorica di un solo modello di razionalità scientifica è quella di attribuire

agli scienziati una « falsa coscienza » metodologica, non tener conto delle loro dichiarazioni metodologiche e cercare di scoprire quello che essi « realmente fanno », indipendentemente da quelle dichiarazioni. In effetti è vero che molte volte quello che gli scienziati fanno è cosa ben differente da quello che essi dicono di fare (basti pensare, tanto per limitarsi all'esempio piú illustre, alle ripetute dichiarazioni di fede induttivista contenute nelle *Regulae* di Newton, inserite in un testo fondamentalmente antiinduttivo come i *Principia*), ma non è vero che questo accada *s e m p r e*.

Ora, il caso di Duhem e della sua opposizione all'atomismo mostra un clamoroso, direi quasi « patologico » esempio di come le convinzioni metodologiche possano dirigere rigidamente scelte scientifiche²⁴. Per Duhem l'atomismo è da rigettare a priori, al di là del suo carattere « progressivo » o « regressivo », cioè al di là delle sue capacità di presa sull'esperienza, per ragioni di ordine metodologico: nel programma atomista Duhem vede una ennesima versione del modellismo raffigurativo e per combatterla scrive *a n c h e* un libro di metodologia, *La théorie physique*. Così come la sua lotta contro la fisica inglese era stata una battaglia condotta nel nome di u n modello di scientificità, quello ricavato dallo studio epistemologico della termodinamica, anche la sua opposizione alla nascente teoria atomica fu dettata fondamentalmente da un atteggiamento metodologico. Il caso chiarissimo di Duhem non mi pare molto isolato: lo scontro tra termodinamica e atomismo fu *a n c h e* un grande scontro tra metodologie rivali, e l'enorme mole di scritti metodologici prodotti dai suoi protagonisti (tanto atomisti quanto antiatomisti) è un sintomo assai significativo di quanto pesassero le convinzioni metodologiche. Certamente la metodologia da sola non può svolgere una funzione decisiva in favore di questo o quell'altro programma; le scelte, in generale, finiscono per essere dettate da ragioni teoriche, ma ciò non significa che le ragioni della metodologia possano essere trascurate sempre nei tentativi di ricostruzione storiografica. Il caso di Duhem, la sua lotta all'atomismo, ma anche quella all'elettromagnetismo, dimostra che

²⁴ Un allievo di Lakatos — Clark, 1976 — ha ricostruito « razionalmente » lo scontro tra atomismo e termodinamica sostenendo, appunto, che le convinzioni metodologiche degli scienziati non furono determinanti. Almeno per Duhem invece lo furono. Per una critica di vari aspetti del lavoro di Clark rinvio a un mio articolo di prossima pubblicazione su « Scientia » dal titolo: *Riflessioni storico-filosofiche sul caso del moto browniano*.

a volte la metodologia svolge un ruolo orientativo importantissimo e che un modello di razionalità scientifica il quale semplifichi la storia espungendone le convinzioni metodologiche corre il rischio di incontrare forti smentite.

Non credo che l'obiezione possa essere aggirata affermando che Duhem, sottoponendo le varie teorie scientifiche al vaglio di una concezione metodologica preconstituita, si comportasse da « cattivo scienziato » che introduce nel dibattito scientifico un elemento estraneo alla scienza, perché le idee metodologiche di Duhem, lo si è visto a più riprese, non erano affatto aprioriche in assoluto, ma nascevano dalla riflessione compiuta su una scienza in grande progresso, la termodinamica. Raramente le convinzioni metodologiche precedono le teorie, esse nascono solitamente come riflessioni su particolari teorie, ma una volta nate tendono ad assumere una propria autonomia, una vita propria, e si proiettano, spesso ergendosi a giudici, verso altre teorie. In questo senso sono parti costitutive dell'impresa scientifica, e l'esempio di Duhem ne è la prova più convincente.

Del resto, proprio perché il modello epistemologico di Duhem non era apriorico, ma era stato « estratto » dalla pratica scientifica, rivelò alla lunga una notevole applicabilità anche alla meccanica quantistica. Questa affermazione può apparire paradossale perché l'atomismo novecentesco è solitamente considerato come una condanna dell'energetica duhemiana, e quindi anche dell'epistemologia di cui questa era portatrice, ma il paradosso non sussiste.

9. - Effettivamente la vittoria dell'atomismo costituì la causa più potente tra quelle che produssero l'eclissi di Duhem nella cultura tra le due guerre. Lo stesso Pierre Humbert, che pure scrisse un lungo saggio sostanzialmente in difesa di Duhem, rilevava nel 1932 che si era prodotta una radicale divaricazione tra fisica duhemiana e fisica atomica: « Non è che si sia fatto di meglio, si è fatto semplicemente qualcosa di completamente differente. In fondo, Duhem ha passato la sua vita a stabilire, con grande ingegno, la grammatica di una lingua che non si parla più »²⁵. Ciò contribuì a gettare discredito anche sulla metodologia di Duhem, ritenuta incompatibile con gli sviluppi della fisica contemporanea e per ciò stesso da condannarsi. L'opposizione che anche Mach fece all'ato-

²⁵ Humbert, 1932, p. 56.

mismo non ebbe gli stessi effetti negativi sulla sua epistemologia perché differenti erano le posizioni di Mach e Duhem. Mach si oppose all'atomismo in quanto fondato su entità ipotetiche, in quanto teoria non sufficientemente fenomenica, Duhem combatté l'atomismo in quanto modellista, prosecutore della tradizione che privilegia la visualizzazione, la traduzione concreta delle formule matematiche. Con il succedersi di metodologie sperimentali sempre più raffinate le ragioni degli oppositori fenomenisti sembrarono svanire: l'atomo divenne un concetto quasi empirico, o almeno così fu interpretato da fenomenisti come Lampa e Petzoldt (anche se, ma la questione è assai controversa, Mach non li seguì)²⁶, i quali si dichiararono alla fine atomisti convinti dalle più recenti osservazioni di laboratorio. Con il successo della impostazione di Heisenberg, poi, la meccanica quantistica sembrò diventare una teoria fenomenista e la filosofia del primo neopositivismo di ispirazione machiana sembrò la filosofia più consona alla nuova fisica atomica. L'opposizione di Mach all'atomismo poté così essere considerata un episodio contingente, non rigidamente determinato dalla sua epistemologia, e quest'ultima poté essere ritenuta perfettamente compatibile con la fisica novecentesca. Più difficile appare, a un primo sguardo, la posizione di Duhem: se il fenomenismo poteva essere conciliato facilmente con l'atomismo, la termodinamica astratta di Duhem (e quindi l'epistemologia che su di essa era stata elaborata) sembrava essere in netta antitesi con i modelli atomici, e infatti Duhem, a differenza dei fenomenisti, non si convertì mai all'atomismo.

Io ritengo sia un errore contrapporre l'antimodellismo duhemiano agli sviluppi della fisica atomica del Novecento. Questa contrapposizione ebbe un senso in un periodo determinato e ristretto, grosso modo finché Duhem fu in vita, ma poi cessò di avere un senso. Nei primi anni del nostro secolo la fisica atomica fu effettivamente modellista, nel senso che impiegò in modo massiccio e con funzioni euristiche importantissime modelli visualizzanti, con scopi di raffigurazione concreta, e in quanto tale parve a Duhem inaccettabile, un « colpo di coda » del meccanicismo di derivazione inglese. Nel giro di pochi anni, però, la fisica atomica si liberò dalla propria dipendenza dai modelli per configurarsi sempre più come teoria matematica priva di rappresentazioni concrete tratte dal mon-

²⁶ Cfr. Petzoldt, 1916; su Lampa cfr. Kleinert, 1976. Utili riferimenti all'accoglienza dell'atomismo in Germania si hanno in Kleinert, 1980.

do abituale della fisica classica. Già il modello di Bohr del 1913 è un modello *sui generis*, il quale, mostrandosi come un familiare « sistema planetario », ma al contempo dichiarando di essere cosa ben diversa da un tale sistema, piú che dare una forma concreta a formule matematiche o aiutare il fisico nella costruzione di tali formule, sembra fatto per avvertire della impossibilità di identificare quel modello con l'incarnazione, l'analogo del sistema materiale di cui quelle equazioni vogliono trattare²⁷. La meccanica delle matrici di Heisenberg, poi, fu concepita in aperta rottura con l'approccio modellistico: le orbite degli elettroni e le grandezze che ne parlano, parte fondamentale di ogni precedente modellizzazione dell'atomo, sono del tutto inosservabili e va pertanto eliminato ogni riferimento ad esse. In luogo dei modelli raffigurativi la meccanica quantistica orientò la propria attenzione verso la costruzione di un formalismo matematico capace di organizzare dati empirici, quali l'intensità e le frequenze delle righe spettrali²⁸. Coloro che rimasero ancorati a concezioni modellistiche, come Schroedinger, si trovarono in gravi difficoltà di fronte a problemi insuperabili che le equazioni matematiche ponevano a chi ne cercasse una interpretazione in qualche modo raffigurativa²⁹. La grande discussione sull'indeterminismo, sul dualismo onda-corpuscolo, sui caratteri « strani » delle statistiche quantiche, posero in luce l'impossibilità di concepire gli oggetti di cui tratta la teoria quantistica alla stregua di oggetti dotati di caratteristiche « classiche » o, peggio ancora, caratteristiche proprie degli oggetti piú famigliari³⁰.

Il lavoro di Heisenberg sembrò operare una svolta definitiva dal modellismo raffigurativo al fenomenismo e poté essere inserito come tale senza molti problemi nella filosofia neopositivista. Le dichiarazioni epistemologiche dello stesso Heisenberg favorirono questa interpretazione³¹. Tuttavia la teoria quantistica configuratasi dopo il 1927 ben difficilmente si lascia comprendere entro quadri filosofici di derivazione ma-

²⁷ Sulla modellizzazione dell'atomo compiuta da Bohr nel 1913 cfr. Hirosegi-Nisio, 1964, 1970; Ter Haar, 1967, pp. 34-42; Heilbron-Kuhn, 1969; Bellone, 1973, pp. 195-214; Ramunni-Costabel, 1981.

²⁸ Cfr. Carazza, 1976.

²⁹ Sia consentito il rinvio a Maiocchi, 1976.

³⁰ Sugli sviluppi della meccanica quantistica e delle discussioni metodologiche ad essi relative tra le due guerre cfr. Jammer, 1966, 1974; Van der Waerden, 1967; Petersen, 1968; Hund, 1974; Price-Chissick, 1977; Hendry, 1980, 1981.

³¹ Per la posizione filosofica di Heisenberg cfr. Heisenberg, 1958, spec. capp. III, IV, V.

chiana: essa è ricca di termini (si pensi alla funzione Ψ) che possiedono una componente teorica fortissima ed ineliminabile, che in nessun modo si lasciano ridurre a (o costituire da) una combinazione di asserti fenomenici. La meccanica quantistica assunse sempre più nettamente, soprattutto a seguito delle prime assiomatizzazioni, l'aspetto di un sistema di equazioni matematiche prive di interpretazione fisica diretta, che solo grazie a un potente apparato calcolistico possono essere collegate a termini interpretabili empiricamente. La meccanica quantistica, cioè, al di là delle enunciazioni filosofiche di alcuni dei suoi protagonisti, non abbandonò il modellismo raffigurativo per dirigersi verso Mach e i suoi discepoli, ma per imboccare la strada ipotetico-deduttiva che Duhem aveva indicato alle teorie fisiche. Non c'è da stupirsi se uno storico della meccanica e dell'atomismo del calibro di Dugas sostenesse nel 1937 che la meccanica quantistica era una teoria conforme ai dettami epistemologici di Duhem. Come giustamente osservava Dugas, la credenza diffusissima che l'epistemologia duhemiana sia incompatibile con la meccanica quantistica si fonda su un fraintendimento del concetto di modello. È vero infatti che anche nelle versioni più mature la meccanica quantistica fa ampio uso di considerazioni modellistiche, ma i modelli di cui si tratta sono modelli matematici, non raffigurativi, sono equazioni, non disegni³². Contro i modelli intesi in questa accezione Duhem non sviluppò alcuna critica, anzi sottolineò come la ricerca di analogie matematiche, cioè l'uso di una equazione come modello per la costruzione di un'altra equazione, sia il più potente strumento euristico a disposizione del ricercatore³³. La polemica di Duhem fu sempre rivolta contro i modelli

³² Oltre a sottolineare la nozione di modello quale rappresentazione astratta e simbolica in senso duhemiano presente nella meccanica quantistica, Dugas individua altri punti sui quali la metodologia di Duhem trovava conferma nella nuova meccanica: 1) La teoria parte dall'esperienza e arriva all'esperienza, ma nell'intervallo il teorico deve soddisfare solo le esigenze della logica; 2) L'impossibilità di scegliere tra onda e corpuscolo è un esempio di impossibilità di esperimenti cruciali; 3) La teoria non è una spiegazione della realtà: solo ammettendo questo si può concepire l'impiego degli spazi hilbertiani; 4) La meccanica quantistica è giustificata dall'esperienza solo globalmente. Cfr. Dugas, 1937 e anche Dugas, 1935.

³³ Nella *Théorie* così si esprime: « Occorre, se si vuol valutare con esattezza la fecondità che può avere l'impiego dei modelli, non confonderli con l'uso delle analogie. Il fisico che cerca di riunire e classificare in una teoria astratta le leggi di una certa categoria di fenomeni, si lascia spesso guidare dalla analogia che intravede tra questi fenomeni e i fenomeni di un altro genere; se questi ultimi si trovano già ordinati e organizzati in una teoria soddisfacente, il fisico tenterà di raggruppare i primi in un sistema dello stesso tipo e della stessa forma. La storia della fisica mostra che la ricerca delle analogie tra due categorie

che raffigurano, che soddisfano ai bisogni di rappresentazione concreta, ma egli mai criticò, anzi sovente esaltò i modelli matematici, astratti. La confusione su questo punto è all'origine della opposizione che comunemente viene fatta in ambiente anglosassone, ad opera soprattutto della Hesse³⁴, tra Duhem e Campbell, con conseguente sopravvalutazione di quest'ultimo. I modelli che Campbell esalta nel suo celebre libro *Physics: the elements* sono modelli matematici, ma sull'impiego di questi modelli anche Duhem era picnamente d'accordo. La differenza tra i due autori, a questo livello, è unicamente terminologica: ciò che Campbell chiama modello è chiamato da Duhem analogia³⁵.

In definitiva, sebbene l'opposizione di Duhem all'atomismo derivasse anche da convinzioni metodologiche, gli sviluppi della fisica atomica dopo Duhem sono approdati ad una teoria che non pare affatto in contraddizione con la visione duhemiana di quello che deve essere una buona teoria scientifica. Questo non fu compreso quasi da nessuno e, sul piano della storia, ciò che pesò fu semplicemente il rifiuto di Duhem della teoria atomica, che spinse la comunità scientifica a dimenticarlo.

10. - Da Duhem si possono dunque trarre due indicazioni convergenti: tanto la sua opera di storico e di scienziato, mostrando a quali rischi si vada inevitabilmente incontro assolutizzando un modello di razionalità, quanto la funzione fondamentale svolta nel suo lavoro di ricerca dalle convinzioni metodologiche, ci mettono in guardia dal gettarci alla ricerca di un unico modello di razionalità scientifica capace di rappresentarci le procedure conoscitive di tutti gli scienziati, da Talete a Einstein.

distinte di fenomeni è forse stato, tra tutti i procedimenti impiegati per costruire le teorie fisiche, il metodo più sicuro e più fecondo ... L'impiego dell'analogia fisica prende a volte una forma ancor più precisa. Quando due categorie di fenomeni ben distinti, molto dissimili, sono stati ridotti a teorie astratte, può capitare che le equazioni che si formulano per una teoria siano algebricamente identiche alle equazioni dell'altra. Allora, anche se le due teorie sono essenzialmente eterogenee per via della natura delle leggi che esse coordinano, l'algebra stabilisce tra di esse una esatta corrispondenza, ogni proposizione in una delle teorie ha il suo omologo nell'altra, ogni problema risolto nella prima pone e risolve un problema simile nella seconda ... Questi due modi differenti di far appello all'analogia tra due gruppi di leggi fisiche o tra due teorie distinte sono dunque fecondi di scoperte, ma non vanno confusi con l'impiego dei modelli » (Duhem, 1906 a, pp. 152-155).

³⁴ Hesse, 1966.

³⁵ Su questo punto ha particolarmente insistito Mellor, 1968. Su Campbell cfr. anche Buchdahl, 1964.

Se si rinuncia a voler privilegiare un unico modello di razionalità scientifica, si deve necessariamente rifugiarsi nel « tutto va bene » di Feyerabend? Se con questo *slogan* si intende (ma per la verità Feyerabend non sembra affatto chiaro a questo riguardo) che non esiste un modello di razionalità scientifica che si lasci applicare senza problemi a tutta la storia della scienza e che pertanto va ammessa una pluralità di comportamenti tutti ugualmente leciti³⁶, mi pare si debba essere senz'altro d'accordo. Se invece con « tutto va bene » (ed è questa l'interpretazione a mio avviso piú spontanea e naturale che fa il lettore dell'opera di Feyerabend) si intende enfatizzare la presenza e il peso a volte addirittura determinante avuto nell'impresa scientifica da parte di argomentazioni propagandistiche, slittamenti di significato occultati ad arte, retorica, « trucchi » di vario genere che rendono totalmente indistinguibile l'attività di uno scienziato che si batte per una teoria da quella di un venditore di prodotti porta-a-porta, allora non credo si possa essere con Feyerabend. Non che questi « trucchi » siano totalmente assenti nella storia, non che in certi momenti essi non abbiano avuto una qualche funzione anche positiva³⁷. Feyerabend ha avuto un merito indubbio nel criticare l'edulcorata immagine dello scienziato « tutto matematica ed esperienza » che avevano costruito neopositivismo e falsificazionismo, ma dal riconoscere la presenza di quelle componenti nella dinamica scientifica al ridurre la scienza interamente ad esse il passo è assai grande. Per me le due affermazioni « nell'opera di uno scienziato non tutto è chiaro » e « nell'opera di uno scienziato è tutto scuro » continuano a rimanere profondamente differenti. Le opere di Feyerabend tendono a ingenerare l'impressione che esse siano identiche³⁸.

Prendiamo l'opera di Duhem. Questi è un pensatore tra i piú reazionari, che ha combattuto Maxwell, Einstein, la teoria atomica, ecc.; a prima vista, quindi, un bell'esempio di scienziato poco « razionale », se identifichiamo la razionalità con il giudizio della comunità scientifica. È poi un pensatore polemicissimo, che ampiamente ha fatto uso nelle proprie battaglie, che non trovano paragoni nel periodo per ampiezza, co-

³⁶ È questa l'interpretazione che dà Giorello nella sua prefazione a Feyerabend, 1979.

³⁷ Questo non significa affatto che il modo in cui Feyerabend ha trattato il principale caso storico da lui assunto per sostenere la propria posizione, quello di Galileo, regga ad una anche superficiale critica storiografica. Per questo sia lecito il rinvio a Maiocchi, 1980.

³⁸ Per una ben piú fondata difesa di questa tesi cfr. Rossi, 1975.

stanza e veemenza, di tutte le armi della retorica. Dovrebbe dunque essere un bell'esempio di scienziato dal comportamento particolarmente « oscuro », che sfugge ai canoni delle « ricostruzioni razionali ». E indubbiamente è così, nel senso che l'opera di Duhem ben difficilmente si lascia inquadrare in uno dei vari modelli di razionalità scientifica fino ad oggi proposti: non è positivista, non è convenzionalista, non è verificazionista, non è falsificazionista, né kuhniano, si comporta male dal punto di vista della metodologia dei programmi di ricerca. Ma il fatto che Duhem non sia « razionale » secondo certi schemi significa che nella sua opera tutto sia propaganda, trucchi, ecc.? Credo di aver dimostrato nelle pagine che precedono che l'atteggiamento scientifico e metodologico di Duhem fu nel suo complesso chiaro, ragionevole, comprensibile, razionale si sarebbe tentati di dire, certo una razionalità che non è né quella di Carnap, né quella di Popper, è la razionalità di Duhem, ma non è la razionalità chiusa, impenetrabile, del mistico coerente o del malato di mente coerente, né una razionalità che rinvii ad una « conoscenza inespressa » alla Polanyi³⁹: è una razionalità che noi possiamo indagare, in cui possiamo penetrare, di cui possiamo farci una ragione e che addirittura possiamo, collocandoci idealmente all'inizio del secolo, condividere. È una razionalità locale, se vogliamo contrapporla a quella globale dei grandi modelli di scientificità, in cui macchinazioni propagandistiche, trucchi, sotterfugi non sono forse assenti, ma occupano certamente un posto di secondo ordine. La rinuncia a interpretare Duhem con il filtro di un modello di razionalità precostituito non significa rinuncia ad una comprensione della sua opera, oppure la necessità, per comprenderla, di accettare come componenti di rilievo dell'impresa scientifica « trucchi » di qualche genere.

D'altra parte il riconoscimento della impossibilità per ogni modello di razionalità di riuscire a spiegare l'intera scienza non può significare, a mio parere, la necessità di ritornare a una storia non epistemologica, alla « storia oggettiva » o « storia positiva » della storiografia francese post-bachelardiana. Una storiografia che pretenda di ricuperare una sorta di stato virginale in cui lo storico ritrova, magari grazie all'uso del calcolatore, la capacità di attingere con occhi puri l'« oggettività storica reale della storia della scienza »⁴⁰, da contrapporre alle ricostruzioni razionali,

³⁹ Cfr. Polanyi, 1958.

⁴⁰ Redondi, 1978 a, p. 241 nota. Sulla storia positiva o oggettiva cfr. Russo, 1974; Costabel, 1975; Redondi, 1975 b; Pomian, 1975; De Solla Price, 1981.

mi pare proponga una illusoria pretesa di obiettività di anacronistico sapore positivista. Imparare dalla storia della scienza, non da un modello apriorico, che cos'è la scienza è una esigenza sacrosanta, ma il problema è: come impariamo dalla storia? A mio avviso il banale (oggi), banalissimo insegnamento della rivoluzione convenzionalista secondo cui non si impara nulla dall'esperienza senza una ipotesi preventiva, vieta di poter produrre una storia che non si riduca a mera erudizione senza l'ausilio di modelli di razionalità scientifica.

La questione che si pone non è quella a proposito della possibilità o meno di fare storia muniti di convinzioni epistemologiche, ma quella di come si possa fare una storia che non si riduca ad apologia di particolari modelli di razionalità. Come può la storia mettere in crisi un modello di razionalità assunto a priori? Come possiamo realmente imparare dalla storia pur facendo una storia guidata da conoscenze epistemologiche? La storia ci può dire qualcosa circa la natura dell'impresa scientifica che già non sia contenuta in un qualche modello di razionalità scientifica?

11. - Sia consentito a chi ha terminato la fatica di un libro di storia una breve enunciazione conclusiva di carattere teoretico a proposito dell'ultima questione posta. L'unico modo per evitare i pericoli dell'apriorismo e le illusioni dell'oggettivismo è a mio parere quello di assumere in epistemologia un punto di vista pluralistico, incentivare la proliferazione dei modelli di razionalità e impiegarli nelle ricostruzioni storiche. Dobbiamo prendere sul serio per i programmi storiografici l'indicazione che ci viene dalla storia dei programmi scientifici e della riflessione epistemologica sulle loro vicende: un programma non è invalidato se non ad opera di un programma rivale. La critica storica ad un particolare modello di razionalità scientifica può essere compiuta solo assumendo come guida per la ricerca storiografica un modello alternativo. Così come la conoscenza scientifica procede attraverso lo scontro tra tentativi differenti di modellizzazione, nessuno dei quali può avere la pretesa di porsi come unico possibile, allo stesso modo la conoscenza della dinamica dell'impresa scientifica si può attuare solo per mezzo di una ricerca che metta alla prova vari modelli di razionalità, senza l'illusione che qualcuno di questi possa costituire la chiave di spiegazione adatta a tutti gli usi. L'enorme ricchezza e complessità della storia della scienza fanno sí che i vari modelli di razionalità scientifica sino ad oggi elaborati possano tutti servire a illuminare qualche caso storico, o qual-

che aspetto di qualche caso storico. La storia della scienza nel suo complesso non può essere racchiusa nel modello induttivista, né in quello convenzionalista ipotetico deduttivo, né in quello popperiano, né in quello kuhniano, ecc., ma questo non significa che la conoscenza della filosofia induttivista, del convenzionalismo, di Popper, di Lakatos e Kuhn non possano essere di grandissimo aiuto per la ricostruzione di talune porzioni della storia della scienza. Ben vengano i modelli di Duhem, di Popper, di Carnap, di Kuhn, di Stegmüller, della Hesse, di Glymour, ecc., e di tutti quelli che l'impatto tra riflessione epistemologica e ricerca storica potrà portare a costruire, perché quanto più ricca sarà la gamma di modelli ipotetici da mettere alla prova, tanto più ricca sarà la storia della scienza che riusciremo a produrre. Le tesi storiografiche, così come le teorie scientifiche, devono nascere dallo scontro, magari dal completamento vicendevole, di tentativi di ricostruzione storica compiuti assumendo, in via di tentativo ipotetico criticamente disposto a rimettersi costantemente in discussione, svariati modelli di razionalità e, questo va da sé, sforzandosi di tener conto con la massima estensione e con il massimo rigore possibili della base documentaria disponibile.

Come lo scienziato non chiede ai propri modelli di rivelare a priori un ordine del reale, ma accetta le indicazioni che attorno a quest'ordine provengono dai modelli solo nella misura in cui essi si rivelano in grado di meglio funzionare rispetto ad altri modelli nel confronto con i dati d'esperienza, allo stesso modo non si può pensare che la pura analisi epistemologica possa essere capace di fornirci una immagine della razionalità scientifica: i vari modelli di razionalità a priori non sono altro che immagini di modalità possibili di svolgimento della dinamica scientifica e acquistano un significato diverso, ci danno indicazioni sulla razionalità operante nel concreto della storia solo nella misura in cui riescono a organizzare meglio di altri modelli il materiale documentario. I modelli di razionalità sono indispensabili al lavoro di ordinamento storiografico, ma presi in se stessi sono schemi vuoti, la razionalità che essi dispiegano ha un valore puramente convenzionale, che può essere giudicato solo sotto il profilo dell'interna coerenza. Man mano che i modelli riescono concretamente a svolgere la loro funzione di organizzatori del materiale storico, man mano che le difficoltà incontrate in questi tentativi suggeriscono modifiche ai modelli che li rendono più soddisfacenti, essi diventano sempre meno astratti e approssimano in misura sempre crescente le forme concrete della razionalità scientifica.

Certo non ci si può illudere sperando che una storiografia che proceda attraverso la competizione di modelli di razionalità che si confrontano tra di loro, o si completano vicendevolmente, nel tentativo di comprendere il più estesamente e il più approfonditamente possibile gli eventi del passato scientifico, possa giungere a scoprire una « storia reale », nel senso di approdare a una visione della storia in qualche modo non più filtrata attraverso schemi ipotetici. Come tutte le attività conoscitive umane anche la storia della scienza non può avere la pretesa di esaurire il proprio oggetto, costruire una verità extraumana. Le ricostruzioni storiche che si compiranno saranno sempre « ricostruzioni razionali », ma non nel senso soggettivista di essere costruzioni che partono dal presupposto che la forma di razionalità in esse presenti è già *data* nel modello assunto a priori, ma nel senso realista che si impiegano modelli di razionalità per cercare di approssimare sempre meglio le forme di razionalità *che emergono* dal flusso della storia.

L'immagine della scienza destinata ad emergere (e che di fatto sta emergendo) da un lavoro storiografico fondato sul principio di proliferazione dei modelli di razionalità scientifica sarà certo un'immagine multiforme, variegata e anche spezzettata in settori e momenti in cui hanno operato in modo predominante differenti modelli di razionalità. Questo non significa che si debba rinunciare a poter esprimere giudizi generali sulla natura della scienza, fondamentalmente rinunciare a parlare in qualche modo di progresso scientifico. Dalla vicenda di Duhem possiamo trarre una indicazione anche a questo proposito, che forse risulterà più chiara di ogni considerazione astratta.

Termodinamica « alla Duhem » e teoria atomica procedettero effettivamente su strade divergenti, lungo direttrici che le differenti opzioni metodologiche rendevano prive di punti di contatto. Ma questa incomunicabilità tra l'energetica di Duhem e l'atomismo ci vieta di parlare di progresso della scienza nel suo complesso? Io credo di no. Lo sviluppo del programma atomistico ha fuori di ogni dubbio rappresentato un gigantesco passo avanti nella conoscenza dei fenomeni dell'infinitamente piccolo, ma anche l'energetica di Duhem ha prodotto grandi risultati: nel campo della termodinamica, dell'elasticità, della meccanica chimica le equazioni di Duhem costituiscono capitoli fondamentali. Entrambi i punti di vista, benché differenti e addirittura divergenti, hanno prodotto un sapere valido. Ma in che modo possiamo descrivere questa situazione se non dicendo che la scienza nel suo complesso è progredita? Certo non si tratta di una scienza unificata, né a partire da una sola teoria

generale, né in forza di un qualche linguaggio universale. È una scienza in cui coesistono pluralità di punti di vista e di approcci metodologici tra di loro lontanissimi, ognuno dei quali contribuisce però a darci informazioni circa l'immagine della natura che noi tentiamo costantemente di costruire.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA. VV.

- 1938 *La notion de progrès devant les sciences (Sixième semaine internationale de synthèse, Centre Internationale de Synthèse)*, Paris.
- 1961 *Aspetti della cultura cattolica nell'età di Leone XIII*, Roma.
- 1979 *Le ragioni del Tomismo. Dopo il centenario dell'enciclica "Aeterni Patris"*, Milano.

Abbri, F.

- 1978 *Gli elementi e la natura del fuoco nella chimica francese: 1750-1770*, in Rossi, 1978.

Agassi, J.

- 1969 *Sir John Herschel's philosophy of success*, « Hist. Stud. Phys. Sci. », I, pp. 1-36.
- 1970 *Dubem's instrumentalism and autonomism*, « Ratio », XII, pp. 148-150.
- 1971 *Faraday as a natural philosopher*, Chicago.
- 1973 *Continuity and discontinuity in the history of science*, « J. Hist. Ideas », XXXIV, pp. 609-626.
- 1978 *La filosofia dell'uomo libero. Verso una storiografia della scienza*, trad. it., Roma.

Agazzi, E.

- 1972 *Introduzione a J. C. Maxwell, Trattato di elettricità e di magnetismo*, trad. it., Torino.

Aiton, E. J.

- 1972 *The vortex theory of planetary motion*, London - New York.

Allen, D. G. C. - Schofield, R. E.

- 1980 *Stephen Hales: scientist and philanthropist*, London.

- Ampère, A. M.
1969 *Opere*, trad. it., a cura di M. Bertolini, Torino.
- Anderson, R. D.
1975 *Education in France, 1848-1870*, Oxford.
- Andoyer, H.
1922 *L'oeuvre scientifique de Laplace*, Paris.
- Andrade, J. F. C.
1898 *Leçons de mécanique physique*, Paris.
- Arnold, D. H.
1979 *The Mécanique physique of Siméon Denis Poisson: the evolution and isolation in France of his approach to physical theory (1800-1840)*, « Diss. Abs. Int. », A. 39, 4457 (ora in corso di pubblicazione in « Arch. Hist. Exact Sci. »).
- Aubry, P. V.
1954 *Monge. Le savant ami de Napoléon Bonaparte 1746-1818*, Paris.
- Aurich, E.
1964 *Die Idee der deutschen Universität*, Darmstadt.
- Austin, W. H.
1970 *Isaac Newton on science and religion*, « J. Hist. Ideas », XXXI, pp. 521-542.
- Babbage, C.
1830 *Reflections on the decline of science in England*, London.
- Bachelard, G.
1928 *Étude sur l'évolution d'un problème de physique: la propagation thermique dans les solides*, Paris.
1932 *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*, Paris.
1972^a *Le matérialisme rationnel*, Paris.
1972^b *La vie et l'oeuvre d'Edouard Le Roy*, in *L'engagement rationaliste*, Paris, pp. 155-190.
- Baille, L.
1906 *Qu'est-ce que la science*, Paris.
- Baillet, A.
1927 *L'influence de la philosophie de Schopenhauer en France (1860-1900)*, Paris.
- Bailly, J. S.
1775 *Histoire de l'astronomie ancienne*, Paris.
1779-1782 *Histoire de l'astronomie moderne*, 3 voll., Paris.

- Baker, K. M.
1975 *Condorcet. From natural philosophy to social mathematics*, Chicago - London.
- Barnard, H. C.
1969 *Education and French Revolution*, Cambridge.
- Barone, F.
1977 *Il neopositivismo logico*, 2 voll., Bari.
- Barral, G.
1889 *Histoire des sciences sous Napoléon Bonaparte*, Paris.
- Basalla, G. - Coleman, W. - Kargon, R. H. (a cura di)
1970 *Victorian science: A self-portrait from the presidential addresses of the British Association for the Advancement of Science*, Garden City.
- Baucia, G.
1973 *Microfenomeni e macrofenomeni secondo Maxwell in relazione alla "teoria dinamica del calore"*, « *Physis* », XV, pp. 333-350.
- Becher, H. W.
1980 *William Whewell and Cambridge mathematics*, « *Hist. Stud. Phys. Sci.* », XI, pp. 1-48.
- Beer, P. (a cura di)
1978 *Newton and the Enlightenment. Proceedings of an international symposium held at Cagliari Italy, on 3-5 october 1977*, « *Vistas Astr.* », XXII, pp. 367-557.
- Bell, A. E.
1947 *Christiaan Huygens and the development of science in the XVIIth century*, London.
1961 *Newtonian science*, London.
- Bellone, E.
1971 *Introduzione a Thomson*, 1971.
1972 *Aspetti dell'approccio statistico alla meccanica: 1849-1905*, Firenze.
1973 *I modelli e la concezione del mondo nella fisica moderna da Laplace a Bohr*, Milano.
1976 *Il mondo di carta*, Milano.
- Belsey, A.
1974 *Interpreting Whewell*, « *Stud. Hist. Phil. Sci.* », V, pp. 49-58.
- Beltrami, E.
1886 *Sull'interpretazione meccanica delle formule di Maxwell*, « *Mem. Acc. Sci. Ist. Bologna* », seduta 14 febbraio 1886.

Ben-David, J.

- 1970 *The rise and decline of France as a scientific centre*, « Minerva », VIII, pp. 160-179.
 1975 *Scienza e società. Uno studio comparato del ruolo sociale dello scienziato*, trad. it., Bologna.

Benguigui, I.

- 1981 *La théorie de l'électricité de Nollet et son application en médecine à travers sa correspondance inédite avec Jallabert*, « Gesnerus », XXXVIII, pp. 225-235.

Benrubi, I.

- 1933 *Les sources et les courants de la philosophie contemporaine en France*, 2 voll., Paris.

Benz, F.

- 1977 *Franz Anton Mesmer und die philosophischen Grundlagen des animalischen Magnetismus*, Mainz.

Bergereau (abbé)

- 1916 *Pierre Dubem*, Bordeaux - Wettenwald.

Bergson, H.

- 1915 *The meaning of the war: life and matter in conflict*, London.

Berman, M.

- 1975 "Hegemony" and the amateur tradition in British science, « J. Social Hist. », VIII, pp. 30-50.
 1978 *Social change and scientific organization: the Royal Institution, 1799-1844*, Ithaca.

Bernard, C.

- 1865 *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris.

Bernstein, H. T.

- 1963 *J. Clerk Maxwell on the history of the kinetic theory of gases, 1871*, « Isis », LIV, pp. 206-216.

Berthelot, M.

- 1873 *Sur la statique des dissolutions salines*, « Bulletin de la Société Chimique de Paris », XIX, pp. 156-160.
 1881² *Traité élémentaire de chimie organique*, Paris.
 1885 *Les origines de l'alchimie*, Paris.
 1886 *Science et philosophie*, Paris.
 1893 *Histoire des sciences. La chimie au moyen âge*, 3 voll., Paris.
 1895 *La science et la morale*, « Revue de Paris », XVIII, pp. 449-469.

Berthelot, R.

- 1911 *Un romantisme utilitaire, étude sur le mouvement pragmatiste*, Paris.

- Berthier, G.
 1919 *L'istoire des sciences en France*, estratto dalla « Revue de Synthèse Historique ».
- Berthollet, C. L.
 1801 *Recherches sur les lois de l'affinité*, Paris.
 1803 *Essai de statique chimique ...*, 2 voll., Paris.
- Bertin, A.
 1858 *Discours sur les théories physiques en général et sur celles de l'électricité en particulier*, Strasbourg.
 1867 *Rapport sur les progrès de la thermodynamique en France*, Paris.
- Bertrand, J.
 1890 *Leçons sur la théorie mathématique de l'électricité*, Paris.
- Bertrand Ramsay, O. (a cura di)
 1975 *Van't Hoff-Le Bel centenary*, Washington.
- Besana, L.
 1972 *Il significato della "Théorie analytique de la chaleur" di Joseph Fourier*, in « Quaderni di storia e critica della scienza », II, pp. 51-105.
- Bierhalter, G.
 1981 *Zu Hermann von Helmholtzens mechanischer Grundlegung der Wärmelehre aus dem Jahre 1884*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XXV, pp. 71-84.
- Bikerman, J. J.
 1975 *Theories of capillary attraction*, « Centaurus », XIX, pp. 182-206.
 1978 *Capillarity before Laplace: Clairaut, Segner, Monge, Young*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XVIII, pp. 103-122.
- Biot, J.-B.
 1803 *Essai sur l'histoire générale des sciences pendant la Révolution française*, Paris.
 1858 *Mélanges scientifiques et littéraires*, 3 voll., Paris.
- Bishop, A. S.
 1971 *The rise of a central authority for english education*, Cambridge.
- Blackmore, J. T.
 1972 *Ernst Mach. His work, life and influence*, London.
 1978 *Three autobiographical manuscripts by Ernst Mach*, « Ann. Sci. », XXXV, pp. 401-418.
- Blake, R. M. (e altri)
 1966 *Theories of scientific method: the Renaissance through the nineteenth century*, Seattle.

- Blanché, R.
1969 *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, Paris.
- Blay, M.
1981 *Pierre Duhem et la théorie physique*, « Recherche », XII, pp. 88-90.
- Blondel, C.
1978 *Sur les premières recherches de la formule électrodynamique par Ampère (octobre 1820)*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXXI, pp. 53-65.
- Blondel-Gatinois, C.
1978 *André-Marie Ampère: la physique newtonienne face à l'électromagnétisme (1820-1831)*, 2 voll., Paris.
- Blondel, M. - Wehrlé, J.
1969 *Correspondance: Extraits*, Paris.
- Boas Hall, M.
1976 *Les liens publics et privés dans les relations franco-anglaises (1660-1720): D'après la correspondance de Newton*, « Revue Synth. », XCVII, pp. 51-59.
- Boerhaave, H.
1715 *De comparando certo in physicis*, Lugduni Batavorum.
1732 *Elementa chemiae, quae anniversario labore docuit, in publicis, privatisque, scholis*, 2 voll., Lugduni Batavorum.
- Boirel, R.
1964 *Brunschvicg, sa vie, son oeuvre*, Paris.
- Boltzmann, L.
1902 *Leçons sur la théorie des gaz ...*, trad. franc., Paris.
1974 *Theoretical physics and philosophical problems*, a cura di B. Mc Guinnes, Dordrecht.
- Bordas-Demoulin, J.-B.
1846 *Mélanges philosophiques et religieux*, Paris.
- Bork, A. M.
1967 *Maxwell and the vector potential*, « Isis », LVIII, pp. 210-222.
- Bosmans, H.
1921 *Pierre Duhem. Notice sur ses travaux relatifs à l'histoire des sciences*, « Revue Quest. Scient. », XXX, pp. 30-62, 427-447.
- Bossut, C.
1802 *Essai sur l'histoire générale des mathématiques*, 2 voll., Paris.
- Bouasse, H.
1894 *De la nature des explications des phénomènes naturels dans les sciences expérimentales*, « Revue Métaphys. Mor. », II, pp. 299-316.

- 1895 *Introduction à l'étude des théories de la mécanique*, Paris.
- Boucharde, G.
- 1938 *Guyton-Morveau, chimiste et conventionnel (1737-1816)*, Paris.
- Boussinesq, J.
- 1873 *Recherches sur les principes de la mécanique, sur la constitution moléculaire des corps et sur une nouvelle théorie des gaz parfaits*, Montpellier.
- 1878 *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et la liberté morale*, Paris.
- 1889 *Leçons synthétiques de mécanique générale*, Paris.
- Boutaric, A.
- 1926 *Thermodynamique et chimie d'après l'ouvrage de Pierre Dubem*, Paris.
- 1927 *Marcellin Berthelot, 1827-1907*, Paris.
- Boutroux, E.
- 1874 *La contingence des lois naturelles*, Paris.
- 1895 *De l'idée de loi naturelle dans la science et la philosophie contemporaines*, Paris.
- 1908 *La philosophie en France depuis 1867* (rapporto presentato al congresso internazionale di filosofia di Heidelberg del 1908), « *Revue Métaphys. Morale* », XVI, pp. 683-716.
- 1914 *L'Allemagne et la guerre*, « *Revue des deux mondes* », XXIII, pp. 385-401.
- Boutroux, P.
- 1907 *La théorie physique de M. Dubem et les mathématiques*, « *Revue Métaphys. Morale* », XV, pp. 363-376.
- Bradley, J.
- 1971 *Mach's philosophy of science*, London.
- Braithwaite, R. B.
- 1966 *La spiegazione scientifica*, trad. it., Milano.
- Brillouin, M.
- 1887 *Essai sur les lois d'élasticité d'un milieu capable de transmettre des actions en raison inverse du carré de la distance*, « *Annales de l'École Normale Supérieure* », 3^e ser., t. IV.
- 1895 *Pour la matière*, « *Revue Gén. Sci.* », VI, pp. 1032-4.
- 1902 *Introduction a Boltzmann, 1902*.
- 1904 *Cours du Collège de France. Propagation de l'électricité, histoire et théorie*, Paris.
- 1925 *Les débuts de la Société Française de Physique*, in *Le livre du Cinquantenaire de la Société Française de Physique*, Paris.

- Brock, W. H. (a cura di)
 1967 *The atomic debates. Brodie and rejection of the atomic theory*, Leicester.
- Broda, E.
 1955 *Ludwig Boltzmann: Mensch, Physiker, Philosoph*, Wien.
- Bromberg, J.
 1967 *Maxwell's displacement current and his theory of light*, « Arch. Hist. Exact Sci. », IV, pp. 218-234.
- Brooke, J. H.
 1975 *Laurent, Gerhardt, and the philosophy of chemistry*, « Hist. Stud. Phys. Sci. », VI, pp. 405-429.
- Brouzeng, P.
 1978 *Magnétisme et énergétique: la méthode de Dubem. A propos d'une lettre inédite de Pierre Curie*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXXI, pp. 333-344.
- Brown, T. M.
 1969 *The electric current in early nineteenth century french physics*, « Hist. Stud. Phys. Sci. », I, pp. 61-103.
- Brunet, P.
 1926 *Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIII^e siècle*, Paris.
 1931 *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle: avant 1738*, Paris.
- Brunetière, F.
 1895 a *Après un visite au Vatican*, « Revue des deux mondes », CXXVII, pp. 97-118.
 1895 b *La science et la religion: reponse à quelques objections*, Paris.
 1896 a *La renaissance de l'idéalisme*, Paris.
 1896 b *La moralité de la doctrine évolutive*, Paris.
 1900-1903 *Discours de combat*, 2 voll., Paris.
 1905 *Sur les chemins de la croyance - Première étape: l'utilisation du positivisme*, Paris.
 1907 *Questions actuelles*, Paris.
- Brunhes, B.
 1908 *La dégradation de l'énergie*, Paris.
- Brunschvicg, L.
 1947³ *Les étapes de la philosophie mathématique*, Paris.
- Brush, S. G.
 1968 *Mach and atomism*, « Synthèse », XVIII, pp. 192-215.

- 1971 J. C. Maxwell and the kinetic theory of gases: a review based on recent historical studies, « Am. J. Phys. », XXXIX, pp. 631-640.
- 1976 *The kind of motion we call heat: a history of the kinetic theory of gases in the 19th century*, 2 voll., Amsterdam - Oxford - New York.
- Bryan, G. H.
- 1916 *Prof. P. Duhem*, « Nature », XCVIII, pp. 131-2.
- Bucciarelli, L. L. - Dworsky, N.
- 1980 *Sophie Germain: an essay in the history of the theory of elasticity*, Dordrecht.
- Buchdahl, G.
- 1959 *Sources of scepticism in atomic theory*, « Br. J. Phil. Sci. », X, pp. 120-134.
- 1964 *Theory construction: the work of Norman Robert Campbell*, « Isis », LV, pp. 151-162.
- Buchheim, G.
- 1971 *Hermann von Helmholtz und die klassische Elektrodynamik*, « NTM », VIII, pp. 26-36.
- Buchwald, J. Z.
- 1977 *William Thomson and the mathematization of Faraday's electrostatics*, « Hist. Stud. Phys. Sci. », VIII, pp. 101-136.
- 1979 *The Hall effect and maxwellian electrodynamics in the 1880's. Part I: The discovery of a new electric field*, « Centaurus », XXIII, pp. 51-99.
- 1980 *Optics and the theory of the punctiform ether*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XXIII, pp. 51-99.
- 1981 *The abandonment of maxwellian electrodynamics: Joseph Larmor's theory of the electron*, « Arch. Int. Hist. Sci. », XXXI, pp. 135-180, 373-438.
- Buffon, G.
- 1777 *Essai d'arithmétique morale*, in Id., *Supplément à l'Histoire Naturelle*, t. IV, Paris.
- Bugge, T.
- 1798-99 *Science in France in the revolutionary era ...*, nuova ediz. con introduzione di M. P. Crosland, Cambridge (Mass.), 1969.
- Bulliot, S. M.
- 1891-92 *Examen des principales théories de la combinaison chimique*, « Annales Phil. Chrèt. », CXXIII, pp. 313-330.
- Bunge, M. - Shea, W. R. (a cura di)
- 1979 *Rutherford and physics at the turn of the century*, New York - Folkestone.

- Burt, E. A.
1926 *The metaphysical foundations of modern physical science*, New York.
- Bush, A.
1959 *Die Geschichte des Privatdozenten*, Stuttgart.
- Buttmann, G.
1970 *The shadow of the telescope: A biography of John Herschel*, trad. ingl., New York.
- Butts, R. E.
1959 *Rationalism in modern science: d'Alembert and the "esprit simpliste"*, « Bucknell Review », VIII, pp. 127-139.
- Cabanès, A.
1891 *Marat inconnu, l'homme privé, le médecin, le savant, d'après des documents nouveaux, et inédits*, Paris.
- Callot, J. P.
1959 *Histoire de l'École Polytechnique*, Paris.
- Calvet, J.
1907 *L'abbé Gustave Morel, professeur à l'Institut Catholique de Paris*, Paris.
- Campbell, L. - Garnett, W.
1882 *The life of J. C. Maxwell with a selection from his correspondence and occasional writings*, London.
- Campbell, N. R.
1920 *Physics, the elements*, Cambridge.
- Cane, E.
1976 *Jean d'Alembert between Descartes and Newton: a critique of Thomas L. Hankins' position*, « Isis », LXVII, pp. 274-278.
- Caneva, K. L.
1978 *From galvanism to electrodynamics: the transformation of german physics and its social context*, « Hist. Stud. Phys. Sci. », IX, pp. 63-159.
1980 *Ampère, the etherians, and the Oersted connection*, « Br. J. Hist. Sci. », XIII, pp. 121-138.
- Canguilhem, G.
1964 *Histoire des religions et histoire des sciences dans la théorie du fétichisme d'Auguste Comte*, in *Mélanges Alexandre Koyré*, Paris.
1969 *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris.
- Cannon, S. F.
1978 *Science and culture: the early victorian period*, New York - Folkestone.

- Cannon, W. F.
 1961 *John Herschel and the idea of science*, « J. Hist. Ideas », XXII, pp. 215-39.
 1964 *Scientists and broad churchman: an early victorian intellectual network*, « J. Br. Stud. », IV, pp. 65-88.
- Cantor, G.
 1971 *Henry Brougham and the scottish methodological tradition*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », II, pp. 69-89.
 1975 *The reception of the wave theory of light in Britain: A case study illustrating the role of methology in scientific debate*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VI, pp. 109-132.
 1977 *Berkeley, Reid and the mathematization of mid-18th century optics*, « J. Hist. Ideas », XXXVIII, pp. 429-448.
- Capek, M.
 1969 *Ernst Mach's biological theory of knowledge*, « Boston Sud. Phil. Sci. », V, pp. 400-20.
- Capéran, L.
 1961 *Histoire contemporaine de la laïcité française*, 3 voll., Paris.
- Cappelletti, V.
 1967 *Introduzione a Helmholtz*, 1967.
- Carazza, B.
 1976 *Heisenberg - La meccanica delle matrici e il principio di indeterminazione*, « Quaderni di storia e critica della scienza », VII, pp. 329-359.
- Cardwell, C. E.
 1972 *Representation and uncertainty: an essay on Pierre Dubem's philosophy of science*, « Diss. Abs. Int. », 7039-A.
- Cardwell, D. S. L.
 1957 *The organization of science in England*, London.
 1968 (a cura di) *John Dalton and the progress of science*, Manchester.
 1977 *Theories of heat and the rise of phycis*, « Hist. Sci. », XV, pp. 138-145.
- Carnap, R.
 1966 *La costruzione logica del mondo*, trad. it., Milano.
- Carra de Vaux (baron)
 1896 *Notions relatives à la philosophie des sciences; critique de la théorie atomique actuelle ...*, « Annls. Phil. Chrèt. », XXXIV, pp. 160-169.
- Carré, J. M.
 1947 *Les écrivains français et le mirage allemand (1800-1940)*, Paris.

- Casini, P.
 1964 *D'Alembert epistemologo*, « Riv. Crit. Stor. Fil. », XIX, pp. 28-53.
- Cassirer, E.
 1968 *Storia della filosofia moderna*, trad. it., 4 voll., Milano.
- Causey, R. L.
 1971 *Avogadro's hypothesis and the dubemian pitfall*, « J. Chem. Educ. », XLVIII, pp. 365-7.
- Chaix-Ruy, J.
 1964 *Edouard Le Roy*, in *Les grands courants de la pensée mondiale contemporaine. Portraits*, t. 2, Como, pp. 879-905.
- Chalmers, A. F.
 1973 a *Maxwell's methodology and his application of it to electromagnetism*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », IV, pp. 107-164.
 1973 b *The limitations of Maxwell's electromagnetic theory*, « Isis », LXIV, pp. 469-83.
- Champollion-Figeac, J. J.
 1844 *J. J. Fourier et Napoléon, l'Égypte et les cent jours*, Paris.
- Channell, D. F.
 1982 *The harmony of theory and practice: the engineering science of W. J. M. Rankine*, « Technology Cult. », XXIII, pp. 39-52.
- Chapin, S. L.
 1968 *The Academy of Sciences during the eighteenth century: an astronomical appraisal*, « French Hist. Stud. », V, pp. 371-404.
- Chappert, A.
 1976 *Deux lettres autographes d'Augustin Fresnel*, « Archs. Int. Hist. Sci. », XXVI, pp. 268-79.
 1977 *Étienne Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière. Traitement analytique de l'optique géométrique, polarisation de la lumière et tentative d'explication dynamique de la réflexion et de la réfraction*, Paris.
 1978 *Lettres nouvelles de la correspondance de Fresnel*, « Archs. Int. Hist. Sci. », XXVIII, pp. 49-65.
- Charbonneau, L.
 1976 *Fourier, l'homme et le physicien d'après John Herivel*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXIX, pp. 63-72.
- Charlton, D. G.
 1959 *Positivist thought in France during the second empire 1852-1870*, Oxford.
 1963 *Secular religions in France (1815-1870)*, Oxford.

- Chasles, M.
1870 *Rapports sur les progrès de la géométrie*, Paris.
- Chevreul, E.
1866 a *Histoire des connaissances chimiques*, Paris.
1866 b *Introduction à l'histoire des connaissances chimiques. Connexions des sciences du domaine de la philosophie ...*, Paris.
1870 *De la méthode a posteriori expérimentale et de la généralité de ses applications*, Paris.
- Cheyne, G.
1702 *An essay concerning the improvements of the theory of medicine*, London.
1703 *Fluxionum methodus inversa, sive quantitatum fluentium leges generaliores*, London.
1705 *Philosophical principles of natural religion*, London.
- Christie, J. R. R.
1974 *The origins and development of the scottish scientific community, 1680-1760*, « Hist. Sci. », XII, pp. 122-41.
1976 *The rise and fall of scottish science*, in Crosland, 1976 b.
- Clagett, M. (a cura di)
1959 *Critical problems in the history of science*, Madison.
- Clark, J. G.
1954 *La pensée de Ferdinand Brunetière*, Paris.
- Clark, P.
1976 a *Atomism versus thermodynamics*, in Howson, 1976.
1976 b *Elkana on Helmholtz and the conservation of energy*, « Br. J. Phil. Sci. », XXVII, pp. 165-76.
- Clark, T. N.
1973 *Prophets and patrons. The french university and the emergence of the social sciences*, Cambridge (Mass.).
- Clifford, W. K.
1883 *The common sense of the exact sciences*, London.
- Cohen, E. G. D. - Thirring, W.
1973 *The Boltzmann equation: theory and applications*, « Acta Physica Austriaca », suppl. X, Vienna - New York.
- Cohen, J. B.
1956 *Franklin and Newton: an inquiry into speculative newtonian experimental science, and Franklin's work in electricity as an example thereof*, Philadelphia.
1964 *Isaac Newton, Hans Sloane and the Académie Royale des Sciences*, in *Mélanges Alexandre Koyré*, Paris.

- 1968 *The french translation of Isaac Newton's "Philosophiae naturalis principia mathematica"*, « Arcs. Int. Hist. Sci. », XXI, pp. 261-83.
- Cohen, R. S.
1956 *Hertz's philosophy of science: an introductory essay*, in Hertz, 1956.
- Cohen, R. S. - Elkana, Y. (a cura di)
1977 *Hermann von Helmholtz: epistemological writings*, « Boston Stud. Phil. Sci. », XXXVII, pp. 1-205.
- Coignet, C.
1911 *De Kant à Bergson. Reconciliation de la religion et de la science dans un spiritualisme nouveau*, Paris.
- Colmant, P.
1972 *Querelle à l'Institut entre équivalentistes et atomistes*, « Revue Quest. Scient. », XXXIII, pp. 493-519.
- Compte Rendu du Troisième Congrès Scientifique des Catholiques* (1895), Brussels.
- Comte, A.
1864² *Cours de philosophie positive*, 6 voll., Paris.
1974 *Corso di filosofia positiva*, trad. it. a cura di A. Lunardon, Brescia.
- Condorcet, J. A. N. C. de
1768 *Essais d'analyse*, Paris.
- Conry, Y.
1974 *L'introduction du darwinisme en France au XIX^e siècle*, Paris.
- Contant, J.-P.
1952 *L'enseignement de la chimie au Jardin royal des plantes de Paris*, Cahors.
- Cornelius, H.
1931 *Zur Kritik der Wissenschaftlichen Grundbegriffe*, « Erkenntnis », II, n. 4.
- Cornoldi, G. M.
1876 *La sintesi chimica contro i principi di S. Tommaso, ossia 'De mixtione elementorum'*, Bologna.
1891 *Sistema fisico di S. Tommaso*, Roma.
- Cornu, A.
1881 *Introduction a Gordon*, 1881.
1885-87 *Notes et éclaircissements a Maxwell*, 1885-87.
- Cornu, A. - Lemoine, G.
1884 *Les notations chimiques dans l'enseignement de l'École Polytechnique*, Paris.

Costabel, P.

- 1961 *Apogée et incertitudes de la Mécanique classique*, in Taton, 1957-76, t. III, vol. I, Paris.
- 1975 *L'impiego dei calcolatori nella storiografia delle scienze*, in *Scienza e tecnica '75* (Annuario della EST), pp. 86-90, Milano.
- 1977 *L'activité scientifique d'Ampère*, « *Revue Hist. Sci. Applic.* », XXX, pp. 105-112.
- 1981 *Simeon-Denis Poisson (1781-1840) et son oeuvre scientifique*, « *Revue du Palais de la Découverte* », X, n. 91, pp. 40-51.

Costa de Beauregard, O.

- 1974 *Ernst Mach, sa vie et son oeuvre*, « *Revue Synth.* », XCV, pp. 271-82.
- 1977 *Sur quelques citations tirées de 'La théorie physique, son objet, sa structure' de Pierre Duhem*, « *Revue Hist. Sci. Applic.* », XXX, pp. 361-6.

Coumet, E.

- 1981 *Paul Tannery: l'organisation de l'enseignement de l'histoire des sciences*, « *Revue Synth.* », CII, pp. 87-123.

Courbet, P.

- 1899 *La faillite du matérialisme*, 3 voll., Paris.

Cournot, A.

- 1851 *Essai sur les fondements de nos connaissances et sur les caractères de la critique philosophique*, Paris.

Couturat, L.

- 1896-97 *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine par A. Hannequin*, « *Revue Métaphys. Morale* », IV, pp. 778-803; VI, pp. 87-113, 220-247.
- 1900 *Contre le nominalisme de M. Le Roy*, « *Revue Métaphys. Morale* », VIII, pp. 87-93.

Cresson, A.

- 1927 *Les courants de la pensée philosophique française*, 2 voll., Paris.
- 1951 *La philosophie française*, Paris.

Crombie, C. A.

- 1957 *Galilée devant les critiques de la postérité*, « *Conferences du Palais de la Découverte* », ser. D, n. 45, Paris.
- 1963 (a cura di) *Scientific change*, London.

Crommelin, C. A.

- 1925 *Physics and art of instrument-making at Leyden in the 17th and 18th centuries*, Leiden.

Crosland, M.

- 1963 *The development of chemistry in the eighteenth century*, « Stud. Voltaire 18th Cent. », XXIV, pp. 382-390.
- 1967 *The Society of Arcueil. A view of french science at the time of Napoleon I*, Cambridge (Mass.).
- 1968 *The first reception of Dalton's atomic theory in France*, in Cardwell, 1968.
- 1971 *Comte and Berthollet: a philosopher's view of chemistry*, *Actes XII^e Congr. Int. Hist. Sci.* 1968 (pubbl. 1971), VI, pp. 23-7.
- 1973 *The history of french science: recent publications and perspectives*, « French Hist. Stud. », VIII, pp. 157-71.
- 1975 *The development of a professional career in science in France*, « Minerva », XIII, pp. 38-57.
- 1976 a *Science and the franco-prussian war*, « Soc. Stud. Sci. », VI, pp. 185-214.
- 1976 b (a cura di) *The emergence of science in Western Europe*, London.
- 1977 *History of science in a national context*, « Br. J. Hist. Sci. », X, pp. 95-113.
- 1978 a *Gay-Lussac: scientist and bourgeois*, Cambridge.
- 1978 b *The French Academy of Sciences in the 19th century*, « Minerva », XVI, pp. 73-102.

Crosland, M. - Smith, C.

- 1978 *The transmission of physics from France to Britain: 1800-1840*, « Historical Stud. Phys. Sci. », IX, pp. 1-61.

Crowther, J. G.

- 1948 *William Thomson*, Paris.
- 1972 *Ernest Rutherford*, London.
- 1974 *The Cavendish Laboratory, 1874-1974*, New York.

Culotta, C. A.

- 1974 *German biophysics, objective knowledge, and romanticism*, « Historical Stud. Phys. Sci. », IV, pp. 3-38.

Cuvaj, C.

- 1970 *Note on Poincaré and relativity*, « Am. J. Phys. », XXXVIII, pp. 774-5.

Cuvier, G.

- 1841 *Histoire des sciences naturelles depuis leur origine jusqu'à nos jours ... professée au Collège de France par G. C., complétée, rédigée, annotée et publiée par M. Magdaleine De Saint-Agy*, 5 voll., Paris.

D'Abro, A.

- 1951 *The rise of the new physics*, 2 voll., New York.

D'Adhémar, R.

- 1904 *La philosophie des sciences et le problème religieux*, Paris.
 1906 *Doctrine thermodynamique et doctrine atomiste*, « Annls. Phil. Chrét. », CLII, pp. 351-74.
 1906-7 *Qu'est-ce que la science?*, « Annls. Phil. Chrét. », CLIII, pp. 389-402.
 1907 *Les variations des théories de la science*, Paris.

D'Agostino, S.

- 1971 *Hertz e Helmholtz sulle onde elettromagnetiche*, « Scientia », CVI, pp. 622-36.
 1975 *Hertz's researches on electromagnetic waves*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VI, pp. 261-323.
 1978 *Esperimento e teoria nell'opera di Maxwell*, « Scientia », CXIII, pp. 453-80.

D'Alembert, J. Le R.

- 1743 *Traité de dynamique*, Paris.

Dansette, A.

- 1951 *Histoire religieuse de la France contemporaine*, 2 voll., Paris.

Dantzig, T.

- 1954 *J. H. Poincaré: critic of crisis*, New York.

Darembert, C.

- 1870 *Histoire des sciences médicales*, Paris.

Darlu, A.

- 1895 *Réflexions d'un philosophe sur une question du jour: science, morale et religion*, « Revue Métaphys. Morale », III, pp. 239-251.

Darnton, R.

- 1968 *Mesmerism and the end of the enlightenment in France*, Cambridge (Mass.).

Daub, E. E.

- 1967 *Atomism and thermodynamics*, « Isis », LVIII, pp. 293-303.
 1970 *Entropy and dissipation*, « Historical Stud. Phys. Sci. », II, pp. 321-54.
 1970-1 *Maxwell's demon*, « Sud. Hist. Phil. Sci. », I, pp. 213-27.
 1976 *Gibbs' phase rule: a centenary retrospect*, « J. Chem. Educ. », LIII, pp. 747-51.

Dauben, J. W.

- 1969 *Marat: his science and the french revolution*, « Arcs. Int. Hist. Sci. », XXII, pp. 235-61.

Daumas, M.

- 1948 *L'école des chimistes français vers 1840*, « Chymia », I, pp. 55-65.

- 1963 *Precision of measurement and physical and chemical research in the eighteenth century*, in Crombie, 1963.
- Davie, G. E.
1964² *The democratic intellect: Scotland and her universities in the nineteenth century*, Edinburgh.
- De Broglie, A.-T.-P.
1889-90 *Le principe de contingence et l'univers visible: matière, force, mouvement*, « Annl. Phil. Chrét. », CXIX, pp. 80-96.
1890 *La géométrie non euclidienne*, « Annl. Phil. Chrét. », CXX, pp. 15-25.
1893-94 *Les relations entre la Foi et la Raison*, « Annl. Phil. Chrét. », CXXVII, pp. 5-30, 201-226, 389-413.
1894 *La réaction contre le positivisme*, Paris.
- Debus, A. G.
1981 *The paracelsians in eighteenth century France: a renaissance in the age of the enlightenment*, « Ambix », XXVIII, pp. 36-50.
- De Dainville, F.
1978 *L'éducation des Jésuites (XV^e-XVIII^e siècles)*, Paris.
- De Freycinet, C.
1896 *Essais sur la philosophie des sciences. Analyse. Mécanique*, Paris.
1902 *Sur les principes de la mécanique rationnelle*, Paris.
- Dekosky, R. K.
1980 *George Gabriel Stokes, Arthur Smithells and the origin of spectra in flames*, « Ambix », XXVII, pp. 103-123.
- Delambre, J.-B.
1817 *Histoire de l'astronomie ancienne*, 2 voll., Paris.
1821 *Histoire de l'astronomie moderne*, 2 voll., Paris.
- De Lapparent, A.
1892-93 *Le fondements intellectuelles de la Foi Chrétienne*, Paris (testo delle lezioni fatte all'Institut Catholique nel 1892-3, che ebbero poi varie edizioni con titoli differenti).
1905 *Science et apologétique*, Paris.
- De La Rive, A.
1877 *M. E. Verdet*, in *Mémorial de l'Association des anciens élèves de l'École Normale 1840-1876*, Paris.
- De La Sizeranne, R.
1895 *La peinture anglaise contemporaine. Ses caractéristiques*, « Revue des deux mondes », CXXVII, pp. 372-412.
- D'Elia, A.
1974 *Ernst Mach*, Firenze.

- 1975 *Recente bibliografia machiana*, « Riv. Crit. Stor. Fil. », XXX, pp. 189-203.
- De Lorenzo, J.
1974 *La filosofia de la matematica de Jules Henri Poincaré*, Madrid.
- Delsedime, P.
1971 *La disputa delle corde vibranti ed una lettera inedita di Lagrange a Daniel Bernoulli*, « Physis », XIII, pp. 117-146.
- Denis, C.
1895 *Les idées et les hommes*, « Anns. Phil. Chrét. », CXXIX, pp. 91-111.
- Desaguliers, J. T.
1734-44 *A course of experimental philosophy*, 2 voll., London.
- Deschoux, M.
1949 *La philosophie de L. Brunschvicg*, Paris.
- De Solla Price, D.
1981 *The analytical (quantitative) theory of science and its implications for the nature of scientific discovery*, « Boston Stud. Phil. Sci. », XXXIV, pp. 179-89.
- D' Hulst, M. L.
1895 *La faillite de la science: réponse à MM. Brunetière et Richet*, « Revue du clergé français », I, pp. 385-99.
- Diderot e d'Alembert
1968 *Enciclopedia o dizionario ragionato delle scienze, delle arti e dei mestieri ordinato da D. e D.*, trad. it. a cura di Paolo Casini, Bari.
- Diederich, W.
1974 *Konventionalität in der Physik: Wissenschaftstheoretische Untersuchungen zum Konventionalismus*, Berlin.
- Diemer, A. (a cura di)
1968 *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert*, Meisenheim am Glam.
- Digeon, C.
1959 *La crise allemande de la pensée française (1870-1914)*, Paris.
- Dijksterhuis, E. J.
1971 *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*, trad. it., Milano.
- Dingler, H.
1926 *Der Zusammenbruch der Wissenschaft und der Primat der Philosophie*, München.
1937 *Die Methode der Physik*, trad. it. *Il metodo della ricerca nelle scienze*, Milano 1953.

Dobbs, B. J. T.

- 1975 *The foundations of Newton alchemy, or 'The hunting of the Greene Lyon'*, London.

Dolby, R. G. A.

- 1976 a *Debates over the theory of solution: a study of dissent in physical chemistry in the english-speaking world in the late 19th and early 20th centuries*, « *Historical Stud. Phys. Sci.* », VII, pp. 297-404.
- 1976 b *The case of physical chemistry*, in Lemaine, 1976, pp. 63-73.
- 1977 *The transmission of science*, « *Hist. Sci.* », XV, pp. 1-43.

Domb, C.

- 1980 *J. C. Maxwell in London*, « *Notes Rec. R. Soc. Lond.* », XXXV, pp. 67-103.

Domet de Vorges (c.te)

- 1893-94 *Les hypothèses physiques sont-elles des explications métaphysiques?*, « *Annls. Phil. Chrét.* », CXXVII, pp. 137-51.
- 1895-96 *Compte rendu du III^e Congrès scientifique international des catholiques séant a Bruxelles (section de philosophie)*, « *Annls. Phil. Chrét.* », CXXXI, pp. 173-84.

Donnan, F. G. - Haas, A. (a cura di)

- 1936 *A commentary on the scientific writings of J. Willard Gibbs*, 2 voll., New Haven.

Donovan, A. L.

- 1975 *Philosophical chemistry in the scottish enlightenment: the doctrines and discoveries of William Cullen and Joseph Black*, Edinburgh.

Dorling, J.

- 1970 *Maxwell's attempts to arrive at non-speculative foundations for the kinetic theory*, « *Stud. Hist. Phil. Sci.* », I, pp. 229-248.

Draper, J. W.

- 1872 *History of the conflict between religion and science*, nuova ediz., London 1922.

Du Bois-Reymond, E.

- 1977 *I sette enigmi del mondo*, trad. it. a cura di V. Cappelletti, Firenze.

Ducasse, C. J.

- 1966 *John F. W. Herschel's methods of experimental inquiry*, in Blake, 1966.

Ducassé, P.

- 1940 *La vie et l'oeuvre d'Abel Rey (1873-1940)*, « *Annales de l'Université de Paris* », XV, pp. 157-164.

Dugas, R.

- 1935 *La méthode dans la mécanique des quanta*, Paris.

- 1937 *La méthode physique au sens de Duhem devant la mécanique des quanta*, « Rev. Gen. Sci. » XLVIII, pp. 68-71.
- 1950 *Histoire de la mécanique*, Neuchâtel.
- 1959 *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes*, Neuchâtel.

Duhem, H. P.

- 1936 *Un savant français, Pierre Duhem*, Paris.

Duhem, P.

- 1884 *Sur le potentiel thermodynamique et la théorie de la pile voltaïque*, « Comp. Rend. Ac. Sci. », XCIX, p. 1113.
- 1885 a *Sur la théorie de l'induction électrodynamique*, « Comp. Rend. Ac. Sci. », C, p. 44.
- 1885 b *Applications de la thermodynamique aux phénomènes capillaires*, « Annls. Sci. Écol. Norm. Sup. », 3^a ser., II, p. 207.
- 1885 c *Applications de la thermodynamique aux phénomènes thermo-électriques et pyro-électriques*, « Annls. Sci. Écol. Norm. Sup. », 3^a ser., II, p. 405.
- 1886 *Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à la théorie des phénomènes électriques*, Paris.
- 1887 *Étude sur les travaux thermodynamique de J. W. Gibbs*, « Bulletin des sciences mathématiques », 2^a ser., XI, pp. 122-145, 159-171.
- 1888 *Étude historique sur l'aimantation par influence*, estratto da « Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse ».
- 1891 *Hydrodynamique, élasticité, acoustique*, 2 voll., Paris.
- 1891-92 *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, 3 voll., Paris.
- 1892 a *Quelques réflexions au sujet des théories physiques*, « Revue Quest. Scient. », 2^a ser., XXXI, pp. 139-77.
- 1892 b *Notation atomique et hypothèse atomistique*, « Revue Quest. Scient. », 2^a ser., XXXI, pp. 391-454.
- 1892 c Recensione a H. Poincaré, *Cours de physique mathématique. Thermodynamique* (Paris 1892), « Revue Quest. Scient. », 2^a ser., XXXI, pp. 603-6.
- 1892-94 *Commentaire aux principes de la thermodynamique*, « Journal des mathématiques pures et appliquées », VIII (1892), p. 269; IX (1893), p. 293; X (1894), p. 207.
- 1893 a *Introduction à la mécanique chimique*, Gand.
- 1893 b *Une nouvelle théorie du monde inorganique*, « Revue Quest. Scient. », 2^a ser., XXXIII, pp. 90-133.
- 1893 c *Physique et métaphysique*, « Revue Quest. Scient. », 2^a ser., XXXIV, pp. 55-83.
- 1893 d *L'école anglaise et les théories physiques*, « Revue Quest. Scient. », 2^a ser., XXXIV, pp. 345-78.

- 1894 a *Les théories de l'optique*, « Revue des deux mondes », CXXIII, pp. 94-125.
- 1894 b *Quelques réflexions au sujet de la physique expérimentale*, « Revue Quest. Scient. », 2^e ser., XXXVI, pp. 179-229.
- 1895 a *Sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes*, estratto da « Éclairage électrique ».
- 1895 b *Les théories de la chaleur*, « Revue des deux mondes », CXXIX, pp. 869-901; CXXX, pp. 380-451.
- 1896 *L'évolution des théories physiques du XVII^e siècle jusqu'à nos jours*, « Revue Quest. Scient. », 2^e ser., XL, pp. 463-499.
- 1897 *Thermochimie, à propos d'un livre récent de M. Berthelot*, estratto dalla « Revue Quest. Scient. », 2^e ser., XLI.
- 1897-99 *Traité élémentaire de la mécanique chimique*, 4 voll., Paris.
- 1899 a *Une science nouvelle: la chimie physique*, estratto da « Revue philomathique de Bordeaux ».
- 1899 b *Usines et laboratoires*, estratto da « Revue philomathique de Bordeaux ».
- 1900 *Un doctorat de l'Université de Bordeaux*, estratto da « Revue philomathique de Bordeaux ».
- 1902 a *Le mixte et la combinaison chimique. Essai sur l'évolution d'une idée*, Paris.
- 1902 b *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell: étude historique et critique*, Paris.
- 1902 c *Thermodynamique et chimie*, Paris.
- 1903 a *L'évolution de la mécanique*, Paris.
- 1903 b *Analyse de l'ouvrage de Ernst Mach*, « Bulletin des sciences mathématiques », 2^e ser., XXVII, pp. 261-283.
- 1903-4 *Recherches sur l'hydrodynamique*, 2 voll., Paris.
- 1904 *De l'accélération produite par une force constante, note pour servir à l'histoire de la dynamique*, Genève (ma s. d.).
- 1905 a *Paul Tannery, 1843-1904*, Montligeon.
- 1905 b *Physique du croyant*, « Annls. Phil. Chrét. », trad. it. in Appendice a P. Duhem, *La teoria fisica*, Bologna 1978.
- 1905-6 *Les origines de la statique*, 2 voll., Paris.
- 1906 a *La théorie physique. Son objet et sa structure*, Paris.
- 1906 b *Recherches sur l'élasticité*, Paris.
- 1906-13 *Études sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, 3 voll., Paris.
- 1908 a ΣΩΖΕΙΑ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ. *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Paris. Questo testo era comparso in precedenza, sempre nell'anno 1908, negli « Annls. Phil. Chrét. »; le citazioni compiute nel testo fanno riferimento alle pagine della rivista.

- 1908 b *La valeur de la théorie physique*, « Revue générale des sciences pures et appliquées », XIX, pp. 7-19.
- 1909 *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, Montligeon (comparso in precedenza nella « Revue de Philosophie » negli anni 1907-8-9).
- 1911 *Traité d'énergétique ou de thermodynamique générale*, 2 voll., Paris.
- 1912 *La nature du raisonnement mathématique*, « Revue de philosophie », XXI, pp. 531-43.
- 1913 *Notice sur les titres et travaux scientifiques de Pierre Duhem*, Bordeaux.
- 1913-59 *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 voll., Paris.
- 1915 a *Quelques réflexions sur la science allemande*, estratto dalla « Revue des deux mondes », 1 febbraio.
- 1915 b *La science allemande*, Paris.
- 1916 a *L'optique de Malebranche*, « Revue Métaphys. Morale », XXIII, pp. 37-91.
- 1916 b *La chimie est-elle une science française?*, Paris.
- Dühring, E.
1873 *Kritische Geschichte der Prinzipien der Mechanik*, Berlin.
- Duilhé De Saint-Projet (Mgr.)
1886 *Apologie scientifique de la foi chrétienne*, Paris (nuova edizione Paris - Toulouse 1905).
- Dulong, P. L. - Petit, A. T.
1819 *Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur*, « Annales de Chimie et de Physique », XVIII, pp. 395-413.
- Dumas, J. B.
1837 *Leçons sur la philosophie chimique*, Paris.
- Dunan, C.
1895 *Théorie psychologique de l'espace*, Paris.
- Du Plessis, S. I. M.
1972 *The compatibility of science and philosophy in France, 1840-1940*, Cape Town.
- Dusek, R.
1973 *The implication of the duhemian argument for the social sciences*, « Diss. Abs. Int. », 34, 819-A.
- Earle, E. M. (a cura di)
1964 *Modern France: problems of the Third and Fourth Republics*, New York.

- Eastwood, D. M.
 1936 *The revival of Pascal. A study of his relation to modern french thought*, Oxford.
- Elkana, Y.
 1974 a *Boltzmann's scientific research program and its alternatives*, in Elkana, 1974 b, pp. 243-79.
 1974 b (a cura di) *The interaction between science and philosophy*, Atlantic Highlands.
 1977 *La scoperta della conservazione dell'energia*, trad. it., Milano.
- Elzinga, A.
 1972 *On a research program in early modern physics*, New York.
- Enriques, F.
 1936 *Il significato della storia del pensiero scientifico*, Bologna.
- Eucken, R.
 1897 *La relation de la philosophie au mouvement religieux du temps présent*, « Revue Métaphys. Morale », V, pp. 399-418.
- Euleri, L.
 1954 *Opera Omnia*, ser. II, XII, Zurich.
 1960 *Opera Omnia*, ser. II, X e XI, Turici.
- Euler, L. - Mayer, T.
 1971 *The Euler - Mayer correspondence, 1751-1755: a new perspective on 18th-century advances in the lunar theory*, a cura di E. G. Forbes, New York - London.
- Everitt, C. W. F.
 1975 *J. C. Maxwell: physicist and natural philosopher*, New York.
- Eymieu, A.
 1928-35 *La part des croyants dans le progrès de la science au XIX^e siècle*, 2 voll., Paris.
- Fabro, C.
 1979 *San Tommaso davanti al pensiero moderno*, in AA. VV., 1979.
- Farrar, W. V.
 1976 *Science and the German university system, 1790-1860*, in Crosland, 1976 b, pp. 179-192.
- Favaro, A.
 1916 *Pietro Dubem: Nota commemorativa letta al R. Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti nella adunanza del 29 ottobre 1916*, Venezia.
 1921 *Galileo Galilei in una rassegna del pensiero italiano nel corso del secolo decimosesto*, « Archivio di storia della scienza », II, pp. 137-147.

- Fayet, J.
1960 *La révolution française et la science*, Paris.
- Fechner, T.
1860 *Elemente der Psychophysik* (rist. Amsterdam 1964).
- Feldstein, L. C.
1957 *The norms of science. An evaluation of the views of Meyerson, Duhem, Peirce*, Ann. Arbor.
- Feyerabend, P. K.
1979 *Contro il metodo*, trad. it., Milano.
- Fichant, M.
1971 *L'idée d'une histoire des sciences*, in Fichant - Pêcheux, 1971.
- Fichant, M. - Pêcheux, M.
1971 *Sur l'histoire des sciences*, Paris.
- Fichman, M.
1971 *French stablishment and chemical studies of air, 1750-1770*, « Ambix », XVIII, pp. 94-122.
- Figala, K.
1977 *Newton as alchemist*, « Hist. Sci. », XV, pp. 102-137.
- Findlay, A.
1965 *Hundred years of chemistry*, Atlantic Highlands.
- Fine, A. I.
1967 *Consistency, derivability and scientific change*, « J. Phil. », LXIV, pp. 231-40.
- Firth, I.
1969 *N-rays. Ghost of scandal past*, « New Scientists », XLIV, pp. 642-3.
- Fischer, F.
1967 *Germany's aims in the first world war*, New York.
- Fleck, L.
1980 *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv* (ed. or. 1935), Frankfurt am Main.
- Fliche, A.
1916 *Pierre Duhem*, « Revue historique », CXXIII, pp. 444-6.
- Foote, G. A.
1954 *Science and its function in early nineteenth century England*, « Osiris », XI, pp. 438-454.
- Forman, P. - Heilbron, J. L. - Weart, S.
1975 *Physics circa 1900. Personnel, funding and productivity of the academic establishments*, « Historical Stud. Phys. Sci. », V, pp. 5-185.

Foucher, L.

- 1955 *La philosophie catholique en France au XIX^e siècle avant la renaissance thomiste et dans son rapport avec elle*, Paris.

Fouillée, A.

- 1875 *Le droit et l'intérêt, d'après l'école anglaise contemporaine*, « Revue des deux mondes », 3^a ser., VIII, pp. 862-92.
 1880 *La morale de l'évolution et du darwinisme en Angleterre*, « Revue des deux mondes », 3^a ser., XL, pp. 112-143.
 1896 *Le mouvement idéaliste et la réaction contre la science positive*, Paris.

Fourier, J.

- 1922 *Théorie analytique de la chaleur*, Paris (le citazioni nel testo si riferiscono alla ediz. Breslau 1883).

Foveau de Courmelles

- 1907 *Le bilan scientifique du XIX^e siècle*, Paris.

Fox, R.

- 1968-69 *The background to the discovery of Dulong and Petit's law*, « Br. J. Hist. Sci. », IV, pp. 1-22.
 1971 *The caloric theory of gases, from Lavoisier to Regnault*, Oxford.
 1973 *Scientific enterprise and the patronage of research in France, 1800-1870*, « Minerva », XI, pp. 442-473.
 1974 *The rise and fall of laplacian physics*, « Historical Stud. Phys. Sci. », IV, pp. 89-136.

Fox, R. - Weisz, G.

- 1980 *The organization of science and technology in France, 1808-1914*, Cambridge - Paris.

Frank, P.

- 1973 *La scienza moderna e la sua filosofia*, trad. it., Bologna.

Frankel, E.

- 1974 *The search for a corpuscular theory of double refraction: Malus, Laplace and the price [sic] competition of 1808*, « Centaurus », XVIII, pp. 223-245.
 1976 *Corpuscular optics vs. the wave theory of light: the science and politics of a revolution in physics*, « Social studies of science », VI, pp. 141-184.
 1977 *J. B. Biot and the mathematization of experimental physics in Napoleonic France*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VII, pp. 33-72.
 1978 *Career-making in post-revolutionary France: the case of J. B. Biot*, « Br. J. Hist. Sci. », XI, pp. 36-48.

- Freind, J.
1709 *Praelectiones chymicae, in quibus omnes fere operationes chymicae ad vera principia et ipsius natura leges rediguntur*, London.
- Fresnel, A.
1826 *Mémoire sur la diffraction de la lumière*, « Mémoires de l'Académie des Sciences », V (1821-2, pubbl. 1826), pp. 339-445.
- Friedman, R. M.
1977 *The creation of a new science: Joseph Fourier's analytical theory of heat*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VIII, pp. 73-99.
- Fustel de Coulanges
1872 *De la manière d'écrire l'histoire en France et en Allemagne depuis cinquante ans*, « Revue des deux mondes », CI, pp. 241-51.
- Gadille, J.
1967 *La pensée et l'action politique des évêques français au début de la III^e République, 1870-1883*, 2 voll., Paris.
- Garber, E. W.
1970 *Clausius and Maxwell's kinetic theory of gases*, « Historical Stud. Phys. Sci. », II, pp. 299-319.
- Gardner, M.
1979 *Realism and instrumentalism in 19th century atomism*, « Phil. Sci. », XLVI, pp. 1-34.
- Gaukroger, S. W.
1976 *Bachelard und the problem of epistemological analysis*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », VII, pp. 189-244.
- Gawrys, C.
1972 *'Conventionalisme' ou intuitionisme: le concept de la loi scientifique chez Edouard Le Roy* (in polacco), in Krajewski (1972).
- Gay, H.
1978 *The asymmetric carbon atom: (a) A case study of independent discovery; (b) An inductivist model for scientific method*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », IX, pp. 207-38.
- Gay, J.
1889 *H. Sainte-Claire Deville. Sa vie et ses travaux*, Paris.
- Gay-Lussac: *la carrière et l'oeuvre d'un chimiste français durant la première moitié du XIX^e siècle* (atti del Colloque Gay-Lussac 11-13 dicembre 1978), Palaiseau 1980.
- Gélinas, J. P.
1959 *La restauration du thomisme sous Léon XIII et les philosophies nouvelles*, Washington.

- Gerbod, P.
1965 *La condition universitaire en France au XIX^e siècle*, Paris.
- Germain, S.
1879 *Oeuvres philosophiques de Sophie Germain suivés de pensées et de lettres inédites et procédés d'une notice sur sa vie et ses oeuvres par H. Stupuy*, Paris.
- Geymonat, L.
1970-76 *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, 7 voll., Milano.
- Giannoni, C.
1967 *Quine, Grünbaum and the Duhemian thesis*, « *Nous* », I, pp. 283-97.
- Gibbs, J. W.
1928 *The collected works of J. W. Gibbs ...*, 2 voll., New York.
- Giedymin, J.
1970 *The paradox of meaning variance*, « *Br. J. Phil. Sci.* », XXI, pp. 257-8.
1973 *Logical comparability and conceptual disparity between Newtonian and relativistic mechanics*, « *Br. J. Phil. Sci.* », XXIV, pp. 270-6.
1981 *Science ad Convention*, Oxford.
- Giere, R.
1973 *History and philosophy of science: intimate relationship or marriage of convenience*, « *Br. J. Phil. Sci.* », XXIV, pp. 282-97.
- Giere, R. - Westfall, R. S. (a cura di)
1973 *Foundations of scientific method: the nineteenth century*, Bloomington - London.
- Gille, P.
1964 *Les écoles de constructeurs de la marine au XVIII^e siècle*, Paris.
- Gillispie, C.
1963 *Les fondements intellectuels de l'introduction des probabilités en physique*, Alençon.
1971 *Lazare Carnot, savant*, Princeton.
1972 *Probability and politics: Laplace, Condorcet and Turgot*, « *Proceedings of the American Philosophical Society* », CXVI, pp. 1-20.
- Gillmor, C. S.
1971 *Coulomb and the evolution of physics and engineering in eighteenth century France*, Princeton.
- Gilpin, R.
1968 *France in the age of the scientific state*, Princeton.
- Ginzburg, B.
1936 *Duhem and Jordanus Nemorarius*, « *Isis* », XXV, pp. 341-62.

- Giorello, G. (a cura di)
1976 *Critica e crescita della conoscenza*, traduz. it., Milano.
- Girardin, J.-Laurens, C.
1854 *Dulong de Rouen. Sa vie et ses oeuvres*, Rouen.
- Giusti Doran, B.
1975 *Origins and consolidation of field theory in 19th-century Britain: from the mechanical to the electromagnetic view of nature*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VI, pp. 133-260.
- Glas, E.
1978 *Methodology and the emergence of physiological chemistry*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », IX, pp. 291-312.
- Glick, T. F. (a cura di)
1975 *The comparative reception of darwinism*, Austin - London.
- Glymour, C.
1980 *Theory and evidence*, Princeton.
- Goblot, E.
1920-21 *Gaston Milhaud*, III, pp. 391-5.
- Goldberg, S.
1970 *Poincaré's silence and Einstein relativity: the role of theory and experiment in Poincaré's physics*, « Br. J. Hist. Sci. », V, pp. 73-84.
- Gooding, D.
1978 *Conceptual and experimental bases of Faraday's denial of electrostatic action at a distance*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », IX, pp. 117-49.
- Goodman, N.
1974 *Il significato di 'Der logische Aufbau der Welt'*, in Schilpp, 1974, I, pp. 528-43.
- Gordon, J. E. H.
1881 *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme*, trad. franc., Paris.
- Gori, G.
1972 *La fondazione dell'esperienza in 'sGravesande*, Firenze.
1979 *Newtonianesimo e malebranchismo nella disputa fra Brook Taylor e Pierre Remond de Montmort*, « ACME », XXXII, pp. 113-65.
- Gossick, B. R.
1976 *Heaviside and Kelvin: a study in contrasts*, « Ann. Sci. », XXXIII, pp. 275-87.
- Gottschalk, L.
1927 *J. P. Marat. A study in radicalism*, New York (nuova ediz. Chicago 1967).

Gouhier, H.

- 1933-41 *La jeunesse d'Auguste Comte et la formation du positivisme*, 3 voll., Paris.

Gouy, G. M.

- 1895 *Le mouvement brownien et les mouvements moléculaires*, Paris.

Gower, B.

- 1973 *Speculation in physics: the history and practice of 'Naturphilosophie'*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », III, pp. 301-56.

Gratry, A.

- 1853 *De la connaissance de Dieu*, Paris.
 1855 *Logique*, Paris.
 1858 *De la connaissance de l'âme*, Paris.

Grattan-Guinness, I. - Ravetz, J. R. (coll.)

- 1972 *Joseph Fourier 1768-1830. A survey of his life and work, based on a critical edition of his monograph on the propagation of heat, presented to the Institut de France in 1807*, Cambridge (Mass.) - London.

Grattan-Guinness, I.

- 1978 *Laplace*, in *Dictionary of scientific biography*, XV, suppl. 1, pp. 273-403, New York.

Green, H. G.

- 1946 *A biography of George Green, mathematical physicist of Nottingham and Cambridge 1793-1841*, in Montagu, 1946.

Gregory, F.

- 1977 *Scientific materialism in nineteenth-century Germany*, Boston.

Grimaux, E.

- 1900 *Charles Gerhardt, sa vie, son oeuvre, sa correspondance, 1816-1856, document d'histoire de la chimie*, Paris.

Griveau, M.

- 1895 *La science en faillite et la science infallible*, « Annl. Phil. Chrèt. », XXXII (nuova ser.), pp. 29-44.

Grmek, M. D.

- 1973 *Raisonnement expérimentale et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*, Genève.

Grosjean, J. M.

- 1896-97 *Science et métaphysique, l'hypothèse des atomes*, « Annl. Phil. Chrèt. », XXXV (nuova ser.), pp. 129-44, 302-17, 440-58, 656-69.
 1908 *Arthur Hannequin et son oeuvre*, in Hannequin, 1908.

Grünbaum, A.

- 1960 *The dubemian argument*, « Phil. Sci. », rist. in Harding, 1976, pp. 116-31.
1962 *The falsifiability of theories: total or partial? A contemporary evaluation of the Duhem-Quine thesis*, « Synthese », XIV, pp. 17-34.
1969 *Can we ascertain the falsity of a scientific hypothesis?*, « Studium Generale », XXII, pp. 1061-93.

Guérard, A. L.

- 1913 *French prophets of yesterday. A study of religious thought under the Second Empire*, London.

Guerlac, H.

- 1959 *Some french antecedents of the chemical revolution*, « Chymia », V, pp. 73-112.
1961 a *Quantification in chemistry*, « Isis », LII, pp. 194-214.
1961 b *Lavoisier. The crucial year*, Ithaca, N. Y.
1964 *Science and French national strenght*, in Earle, 1964, pp. 81-105.
1975 *Antoine-Laurent Lavoisier, chemist and revolutionary*, New York.
1976 *Chemistry as a branch of physics: Laplace's collaboration with Lavoisier*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VII, pp. 193-276.
1979 *Some areas for further newtonian studies*, « Hist. Sci », XVII, pp. 75-101.

Guéron, J. - Magat, M.

- 1971 *A history of physical chemistry in France*, « A. Rev. Phys. Chem. », XXII, pp. 1-23.

Guichard, M.

- 1937 *Essai historique sur les mesures en chimie*. I (a) *Avant Lavoisier*, (b) *avec Lavoisier*; II (c) *Après Lavoisier*, Paris.

Guillemin, E. A.

- 1932 *Early developments in electromagnetic theory with two unpublished letters by A. M. Ampère*, « Isis », XVIII, pp. 118-126.

Gunter, P. A. Y.

- 1978 *Bergson's philosophical method and its applications to the sciences*, « South. J. Phil. », XVI, pp. 167-181.

Guralmick, S. M.

- 1979 *The contexts of Faraday's electrochemical laws*, « Isis », LXX, pp. 59-75.

Gusdorf, G.

- 1966 *De l'histoire des sciences à l'histoire de la pensée*, Paris.
1971 *Les principes de la pensée au siècle des Lumières*, Paris.

Haar, D. ter

1967 *The old quantum theory*, Oxford.

Hackmann, W. D.

1976 *The growth of science in the Netherlands in the 17th and early 18th centuries*, in Crosland, 1976 b, pp. 89-110.

1979 *The relationship between concept and instrument design in 18th century experimental science*, « Ann. Sci. », XXXVI, pp. 205-24.

Hahn, R.

1964 a *L'enseignement scientifique aux écoles militaires et d'artillerie au XVIII^e siècle*, Paris.

1964 b *The chair of hydrodynamics in Paris, 1775-1791: a creation of Turgot*, in *Acts of the Xth International Congress of the History of Science* (Ithaca), Paris, pp. 751-54.

1967 *Laplace as a Newtonian scientist*, Los Angeles.

1968 *Laplace's first formulation of scientific determinism in 1773*, in *Actes du XI^e Congrès Internationale d'Histoire des Sciences*, Warsaw - Cracow, II, pp. 167-71.

1971 *The anatomy of a scientific institution. The Paris Academy of Sciences, 1666-1803*, Berkeley - Los Angeles - Boston.

1974 *Determinism and probability in Laplace's philosophy*, in *Actes du XIII^e Congrès Internationale d'Histoire des Sciences*, 1971 (pub. 1974), I, pp. 170-76.

Hales, S.

1727 *Vegetable staticks: or, an account of some statical experiments on the sap in vegetables ...*, London.

Hall, A. R.

1975 *Newton in France: a new view*, « Hist. Sci. », XIII, pp. 233-50.

1976 *Les liens publics et privés dans les relations franco-anglaises (1660-1720): d'après la correspondance de Newton*, « Rev. Syn. », XCVII, pp. 60-70.

Hall, A. R. - Boas Hall, H.

1958 *Newton's chemical experiments*, « Arcs. Int. Hist. Sci. », XI, pp. 113-52.

1960 *Newton's theory of matter*, « Isis », LI, pp. 131-144.

Hamamdjian, P. G.

1978 *Repères pour une biographie intellectuelle d'Ampère*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXXI, pp. 233-48.

Hamburg, R. R.

1976 *The theory of equations in the 18th century: the work of Joseph Lagrange*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XVI, pp. 17-36.

- Hamilton, S. B.
1938 *Charles Auguste de Coulomb*, « Trans. Newcomen Soc. », XVII, pp. 27-49.
- Hankins, T. H.
1970 *Jean d'Alembert. Science and the Enlightenment*, Oxford.
- Hannequin, A.
1895 *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine*, Paris.
1908 *Études d'histoire des sciences et d'histoire de la philosophie*, 2 voll., Paris.
- Hanson, N. R.
1973 *Constellations and conjectures*, Dordrecht.
1978 *I modelli della scoperta scientifica*, trad. it., Milano.
- Harding, S. G.
1976 *Can theories be refuted? Essays on the Duhem-Quine thesis*, Boston - Dordrecht.
- Hauksbee, F.
1709 *Physico-mechanical experiments on various subjects*, London.
- Haüy, R. J.
1803 *Traité élémentaire de physique*, Paris.
- Hegge, H.
1972 *Theory of science in the light of Goethe's science of nature*, « Inquiry », XV, pp. 363-86.
- Heilbron, J. L.
1979 *Electricity in the 17th and 18th century: a study of early modern physics*, Berkeley.
- Heilbron, J. L. - Kuhn, T. S.
1969 *The genesis of the Bohr atom*, « Historical Stud. Phys. Sci. », I, pp. 211-90.
- Heimann, P. M.
1970 a *Molecular forces, statistical representation and Maxwell's demon*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », I, pp. 189-211.
1970 b *Maxwell and the modes of consistent representation*, « Arch. Hist. Exact Sci. », VI, pp. 171-213.
1971 a *Faraday's theories of matter and electricity*, « Br. J. Hist. Sci. », V, pp. 235-57.
1971 b *Maxwell, Hertz, and the nature of electricity*, « Isis », LXII, pp. 149-57.

- 1972 *The 'unseen universe': physics and the philosophy of nature in Victorian Britain*, « Br. J. Hist. Sci. », VI, pp. 73-79.
- 1973 *'Nature is a perpetual worker': Newton's aether and 18th century natural philosophy*, « Ambix », XX, pp. 1-25.
- Heimann, P. M. - Mc Guire, J. E.
- 1971 *Newtonian forces and Lockean powers: concepts of matter in 18th century thought*, « Historical Stud. Phys. Sci. », III, pp. 233-306.
- Heisenberg, W.
- 1958 *Physics and philosophy. The revolution in modern science*, New York.
- Heller, M.
- 1975 *The influence of Mach's thought on contemporary relativistic physics*, « Organon », XI, pp. 271-83.
- Helm, G.
- 1894 *Grundzüge der mathematischen Chemie. Energetik der chemischen Erscheinungen*, Leipzig.
- 1898 *Die Energetik nach ihrer geschichtlichen Entwicklung*, Leipzig.
- Helmholtz, H. von
- 1882 *Zur thermodynamik chemischer Vorgänge*, « Sitzungsber der Berliner Akademie », rist. in « Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften », CXXIV, Leipzig 1902.
- 1967 *Opere*, trad. it. a cura di V. Cappelletti, Torino.
- Hempel, C. G.
- 1961 *La formazione dei concetti e delle teorie nella scienza empirica*, trad. it., Milano.
- Henderson, J. B.
- 1932 *Macquorn Rankine: an oration*, Glasgow.
- Hendry, J.
- 1980 *Weimar culture and quantum causality*, « His. Sci. », XVIII, pp. 155-80.
- 1981 *Bohr - Kramers - Slater. A virtual theory of virtual oscillators and its role in the history of quantum mechanics*, « Centaurus », XXV, pp. 189-221.
- Hennemann, G.
- 1959 *Naturphilosophie im 19. Jahrhundert*, Freiburg - Munich.
- Herivel, J. W.
- 1966-67 *Aspects of french theoretical physics in the nineteenth century*, « Br. J. Hist. Sci. », III, pp. 109-32.
- 1972 *The influence of Fourier on British mathematics*, « Centaurus », XVII, pp. 40-57.

- 1975 a *Joseph Fourier: the man and the physicist*, Oxford - London - New York.
- 1975 b *Ampère. Pioneer of electrodynamics*, « *Endeavour* », XXXIV, pp. 34-7.
- Herivel, J. W. - Costabel, P. (coll.)
 1980 *Joseph Fourier face aux objections contre sa théorie de la chaleur. Lettres inédites 1806-1816*, Paris.
- Hermann, J.
 1926 *Gustav Theodor Fechner*, Munchen.
- Herschel, J. F. W.
 1830 *Preliminary discourse on the study of natural philosophy*, London (rist. anast. New York 1966).
- Hertz, H.
 1956 *The principles of mechanics presented in a new form*, trad. ingl., New York.
 1962 *Electric waves*, trad. ingl., New York.
 1977 *Memoirs, letters, diaries. Arranged by Johanna Hertz. Second enlarged edition prepared by Mathilde Hertz and Charles Susskind*, San Francisco.
- Hertz, J. (a cura di)
 1927 *H. Hertz: Erinnerungen, Briefe, Tagebücher*, Leipzig.
- Hesse, M. B.
 1966 *Models and analogies in science*, Notre Dame.
 1968 *Fine's criteria of meaning change*, « *J. Phil.* », LXV, pp. 46-52.
 1973 *Logic of discovery in Maxwell's electromagnetic theory*, in Giere - Westfall, 1973, pp. 86-114.
 1976 *Dubem, Quine and a new empiricism*, in Harding, 1976, pp. 184-204.
 1980 *Revolutions and reconstructions in the philosophy of science*, Brighton.
- Heyman, J.
 1972 *Coulomb's memoir on statics: an essay in the history of civil engineering*, London.
- Hiebert, E. N.
 1968 *The conception of thermodynamics in the scientific thought of Mach and Planck*, « *Wissenschaftlicher Bericht* », 5/68, Ernst Mach Institut, Freiburg.
 1970 a *The genesis of Mach's early views on atomism*, « *Boston Stud. Phil. Sci.* », VI, pp. 79-106.
 1970 b *Mach's philosophical use of the history of science*, in Stuewer, 1970, pp. 184-203.

- 1974 *Mach's conception of thought experiments in the natural sciences*, in Elkana, 1974 b, pp. 339-48.
- 1975 *The energetics controversy and the new thermodynamics*, in Roller, 1975.
- 1976 *An appraisal of the work of E. Mach: scientist-historian-philosopher*, in Machamer - Turnbull, 1976, pp. 360-389.
- Hiromasa, N.
- 1975 *Formation of the concept of the Gibbs ensemble*, « Proc. XIV Int. Congr. Hist. Sci. 1974 » (pub. 1975), II, pp. 265-68.
- Hirosige, T.
- 1966 *Electrodynamics before the theory of relativity, 1890-1905*, « Jap. Stud. Hist. Sci. », V, pp. 1-49.
- 1976 *The ether problem, the mechanistic world view, and the origins of the theory of relativity*, « Historical Stud. Phys. Sci. », VII, pp. 3-82.
- Hirosige, T. - Nisio, S.
- 1964 *Formation of Bohr's theory of atomic constitution*, « Jap. Stud. Hist. Sci. », III, pp. 6-28.
- 1970 *The genesis of the Bohr atom model and Planck's theory of radiation*, « Jap. Stud. Hist. Sci. », IX, pp. 35-47.
- Hocedez, E.
- 1947 *Histoire de la théologie au XIX^e siècle; III: Le règne de Léon XIII*, Bruxelles.
- Hofer, F.
- 1872 *Histoire de la physique et de la chimie depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours*, Paris.
- Hollinger, R.
- 1978 *The philosophical significance of the Duhemian argument*, « Personalist », LIX, pp. 221-40.
- Holmes, F. L.
- 1962 *From elective affinities to chemical equilibria: Berthollet's law of mass action*, « Chymia », VIII, pp. 105-46.
- Holton, G. - Blanpied, W. A. (a cura di)
- 1976 *Science and its public: the changing image*, Dordrecht.
- Hönl, H.
- 1979 *Albert Einstein und Ernst Mach. Das Machsche Prinzip und die Krise des logischen Positivismus. Walther Gerlach zum Gedächtnis*, « Phys. Bl. », XXXV, pp. 485-94.
- Houghton, W. E.
- 1957 *The Victorian frame of mind, 1830-70*, New Haven.

- Howson, C. (a cura di)
1976 *Method and appraisal in the physical science; the critical background to modern science, 1800-1905*, Cambridge.
- Hufbauer, K.
1971 *Social support for chemistry in Germany during the eighteenth century: how and why did it change?*, « Historical Stud. Phys. Sci. », III, pp. 205-31.
1976 *Chemistry enlightened audience*, « Stud. Voltaire 18th Cent. », CLIII, pp. 1069-86.
- Humbert, P.
1932 *Pierre Duhem*, Paris.
- Hund, F.
1974 *The history of quantum theory*, trad. ingl., London.
- Hutchison, K.
1981 a *W. J. M. Rankine and the rise of thermodynamics*, « Br. J. Hist. Sci. », XIV, pp. 1-26.
1981 b *Rankine, atomic vortices, and the entropy function*, « Arcs. Int. Hist. Sci. », XXXI, pp. 72-134.
- Jacob, M. C.
1976 *The newtonians and the English Revolution, 1689-1720*, Ithaca - New York.
- Jacob, P.
1980 *L'empirisme logique: ses antécédents, ses critiques*, Paris.
- Jahnke, H. - Otte, M. (a cura di)
Epistemological and social problems of the sciences in the early nineteenth century, Dordrecht - Boston - London.
- Jamin, J.
1881 *Cours de physique de l'École Polytechnique*, 5 voll., 3^a ediz., Paris.
- Jammer, M.
1966 *The conceptual development of quantum mechanics*, New York - St. Louis.
1974 *The philosophy of quantum mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective*, New York.
- Janet, P.
1874 *La science sociale et la philosophie anglaise*, « Revue des deux mondes », 3^a ser., V, pp. 81-110.
- Janik, A. - Toulmin, S.
1975 *La grande Vienna*, trad. it., Milano.

- Jenneck, J. A. W.
1929 *Heinrich Hertz*, « Deutsches Museum Abhandlungen und Berichte », I, pp. 1-36.
- Jolly, J.
1852 *Prinzipien der Mechanik*, Stuttgart.
- Jolly, W. P.
1974 *Sir Oliver Lodge*, London.
- Jouguet, E.
1917 *Pierre Duhem*, « Revue Générale des Sciences », XXVIII, pp. 40-9.
- Jouhaud, M.
1960 *Edouard Le Roy et la philosophie réflexive*, « Études Bergsoniennes », V, pp. 85-139.
- Jourdain, P. E. B.
1913 *The origin of Cauchy's conceptions of a definite integral and of the continuity of a function*, « Isis », I, pp. 661-703.
- Jourdy, G.
1914 *Wyrouboff, sa vie, son oeuvre*, estratto dalla « Revue scientifique ».
- Joy, G. C.
1971 *Pierre Duhem: physical theory, experiment, and conventionalism*, « Diss. Abs. Int. », XXXI, 3596-A.
- Israel, G. - Negrini, P.
1973 *La rivoluzione francese e la scienza*, « Scientia », CVIII, pp. 41-54, 357-75.
- Kapoor, S. C.
1965 *Berthollet, Proust and proportions*, « Chymia », X, pp. 53-110.
1969 a *Dumas and organic classification*, « Ambix », XVI, pp. 1-65.
1969 b *The origins of Laurent's organic classification*, « Isis », LX, pp. 477-527.
- Kargon, R. H.
1969 *Model and analogy in Victorian science: Maxwell's critique of the French physicists*, « J. Hist. Ideas », XXX, pp. 423-36.
1977 *Science in Victorian Manchester: enterprise and expertise*, Baltimore.
- Kastler, A.
1977 *Ampère et les lois de l'électrodynamique*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXX, pp. 145-57.
- Keill, J.
1702 *Introductio ad veram physicam*, Oxford.

Kevles, D. J.

- 1971 "Into hostile political camps": the reorganization of international science in world war I, « Isis », LXII, pp. 47-60.

King, L. R.

- 1964 *Stahl and Hoffmann: a study in eighteenth century animism*, « J. Hist. Med. », XIX, pp. 118-30.

King, M. C.

- 1981 *Experiments with time: progress and problems in the development of chemical kinetics*, « Ambix », XXVIII, pp. 70-82.

Kirchhoff, G. R.

- 1874 *Vorlesungen über mathematische Physik. Mechanik*, Leipzig.

Klein, M. J.

- 1969 *Gibbs on Clausius*, « Historical Stud. Phys. Sci. », I, pp. 127-49.
 1972-73 *Mechanical explanation at the end of the nineteenth century*, « Centaurus », XVII, pp. 58-82.
 1974 *Boltzmann, monocycles and mechanical explanation*, « Boston Stud. Phil. Sci. », XI, pp. 155-75.

Kleinert, A.

- 1976 *Anton Lampa, 1868-1938*, Berlin.
 1980 *Physik im 19. Jahrhundert*, Darmstadt.

Klotz, I. M.

- 1980 *The N-ray affair*, « Scient. Am. », CCXLII (maggio), pp. 168-75.

Knafla, L. A., e altri (a cura di)

- 1976 *Science, technology and culture in historical perspective*, Calgary.

Kneller, C. L.

- 1906 *Il Cristianesimo e i naturalisti moderni*, trad. it., Brescia.

Knight, D. M.

- 1967 a *Steps towards a dynamic chemistry*, « Ambix », XIV, pp. 179-97.
 1967 b *Atoms and elements. A study of theories of matter in England in the nineteenth century*, London.
 1970 *The physical sciences and the romantic movement*, « Hist. Sci. », IX, pp. 54-75.
 1976 *German science in the romantic period*, in Crosland, 1976 b, pp. 161-78.
 1978 *The transcendental part of chemistry*, Folkestone.

Knoepfemacher, U. C. - Tennyson, G. B. (a cura di)

- 1977 *Nature and the victorian imagination*, Berkeley.

Knudsen, O.

- 1978 *Electric displacement and the development of optics after Maxwell*, « Centaurus », XXII, pp. 53-60.

Koenigsberger, L.

- 1902-03 *Hermann von Helmholtz*, 3 voll., Braunschweig (trad. ingl., New York 1965).

Kohler, R. E. jr.

- 1972 *The origin of Lavoisier's first experiments on combustion*, « Isis », LXIII, pp. 349-55.
 1975 *Lavoisier's rediscovery of the air from mercury calcx. A reinterpretation*, « Ambix », XXII, pp. 52-7.

Kohn, H.

- 1956 *France between Britain and Germany*, « J. Hist. Ideas », XVII, pp. 283-99.

Kopp, H.

- 1843-47 *Geschichte der Chemie*, 4 voll., rist. Leipzig 1931.

Kording, C.

- 1971 *The justification of scientific change*, Atlantic Highlands, N. J.

Koyré, A.

- 1961 *La Révolution Astronomique. Copernic, Kepler, Borelli*, Paris.
 1972 *Studi newtoniani*, trad. it., Torino.
 1979 *Studi galileiani*, trad. it., Torino.

Krajewski, W. (a cura di)

- 1972 *Pojecie prawa nauki a Konwencjonalizm*, Wroclaw - Warszawa.

Krips, H.

- 1982 *Epistemological holism: Duhem or Quine?*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », XIII, pp. 251-64.

Kuhn, T. S.

- 1951 *Newton's '31st Query' and the degradation of gold*, « Isis », XLII, pp. 296-98.
 1958 *The caloric theory of adiabatic compression*, « Isis », XLIX, pp. 132-140.
 1969 *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, trad. it., Torino.
 1978 *Black-body theory and the quantum discontinuity, 1894-1912*, New York (trad. it., Bologna 1981).

Lagemann, R. T.

- 1977 *New light on old rays: N-rays*, « Am. J. Phys. », XLV, pp. 281-4.

Lagrange, L.

- 1762 *Essai d'une nouvelle méthode pour déterminer les maxima et minima des formules intégrales indéfinies*, « Miscellanea Taurinensia », III, Torino.
- 1787 *Mécanique analytique*, Paris.
- 1797 *Théorie des fonctions analytiques*, Paris.

Laitinen, H. A. - Ewing, G. W.

- 1977 *A history of analytical chemistry*, Washington.

Lakatos, I.

- 1976 a *La falsificazione e la metodologia dei programmi di ricerca scientifici*, in Giorello, 1976, pp. 164-276.
- 1976 b *La storia della scienza e le sue ricostruzioni razionali*, in Giorello, 1976, pp. 366-408.
- 1979 *Dimostrazioni e confutazioni. La logica della scoperta matematica*, trad. it., Milano.

Lamé, G.

- 1836 *Cours de physique de l'École Polytechnique*, Paris.
- 1863 *Note sur la marche à suivre pour découvrir le principe seul véritablement universel, de la nature physique*, Paris.
- 1867 *Esquisse d'une réforme pour l'enseignement des sciences*, Paris.

Langevin, P. - De Broglie, M. (a cura di)

- 1912 *La théorie du rayonnement et les quanta, rapports et discussions de la réunion tenue à Bruxelles du 30 octobre au 3 novembre 1911, sous les auspices de M. E. Solvay*, Paris.

Langevin, P.

- 1904 *La physique des électrons*, in Id., *La physique depuis vingt ans*, Doin - Paris 1923.

Laplace, P. S.

- 1776 *Recherches (1) sur l'intégration des équations différentielles aux différences finies et sur leur usage dans la théorie des hasards; (2) sur le principe de la gravitation universelle, & sur les inégalités séculaires des planètes qui en dépendent*, « Mémoires (savant étrangers) », VII (année 1773), pp. 37-232; anche in Id., *Oeuvres*, VIII, pp. 66-197, 201-75.
- 1796 *Exposition du Système du Monde*, 2 voll., Paris.
- 1799-1825 *Traité de mécanique céleste*, 6 voll., Paris.
- 1823 *Compendio della storia dell'astronomia*, trad. it., Milano.
- 1967 *Opere*, trad. it., Torino, a cura di O. Pesenti Cambursano.

Lasswitz, K.

- 1892 *Die moderne Energetik in ihrer Bedeutung für die Erkenntniskritik*, estratto da « Philosophische Monatshefte », XXIX.

- 1910³ *Gustav Theodor Fechner*, Stuttgart.
- Laudan, L.
 1976 *The methodological foundations of Mach's anti-atomism and their historical roots*, in Machamer - Turnbull, 1976, pp. 390-417.
 1977 *Progress and its problems*, Berkeley.
- Laurent, A.
 1854 *Méthode de chimie*, Paris.
- Le Bon, G.
 1905 *L'évolution de la matière*, Paris.
 1907 *L'évolution des forces*, Paris.
- Lecanuet, E.
 1930 *Le vie de l'Eglise sous Léon XIII*, Paris.
- Lechallas, G.
 1891 *La géométries générale et l'intuition*, « Anns. Phil. Chrèt. », CXXI, pp. 57-74.
 1893 a *Quelques réflexions sur les hypothèses scientifiques*, « Anns. Phil. Chrèt. », CXXVI, pp. 278-87.
 1893 b *Une discussion sur le temps*, « Anns. Phil. Chrèt. », CXXVI, pp. 81-6.
 1893-94 *M. Dubem est-il positiviste?*, « Anns. Phil. Chrèt. », CXXVII, pp. 312-3.
 1896 *Étude sur l'espace et le temps*, Paris.
 1907 *La théorie physique*, « Anns. Phil. Chrèt. », CLIV, pp. 144-62.
- Le Chatelier, F.
 1968 *Henry Le Chatelier*, Paris.
- Le Chatelier, H.
 1886 *Thermodynamique et chimie*, Paris.
- Le Dantec, F.
 1904 *Lois naturelles, réflexions d'un biologiste sur les sciences*, Paris.
 1907 *L'athéisme*, Paris.
 1908 *La définition de la science, entretiens philosophiques*, Paris.
- Lefort, F.
 1867 *Un savant chétien. J. B. Biot*, « Le correspondant », XXXVI, pp. 955-95.
- Le Grand, H. E.
 1972 *Lavoisier's oxygen theory of acidity*, « Ann. Sci. », XXIX, pp. 1-18.
 1975 *The 'conversion' of C.-L. Berthollet to Lavoisier's chemistry*, « Ambix », XXII, pp. 58-70.

- 1976 C.-L. Berthollet's 'Essai de statique chimique' and acidity, « Isis », LXVII, pp. 229-38.
- 1976-77 *Genius and the dogmatization of error: the failure of C.-L. Berthollet's attack upon Lavoisier's acid theory*, « Organon », XII-XIII, pp. 193-209.
- Lehmann, W. J.
1972 *Atomic and molecular structure: the development of our concepts*, New York.
- Lehrs, E.
1975 *Spiritual science, electricity and M. Faraday*, London.
- Leicester, H. M.
1978 *Storia della chimica*, trad. it., Milano.
- Lemaine, G. e altri (a cura di)
1976 *Perspectives on the emergence of scientific disciplines*, The Hague.
- Lemay, P. - Oesper, R. E.
1948 *Pierre Louis Dulong, his life and work*, « Chymia », I, pp. 171-90.
- Lemoine, A.
1864 *Le vitalisme et l'animisme de Stahl*, Paris.
- Lemoine, G.
1913 *L'évolution de la chimie physique*, « Revue Quest. Scient. », LXXIII, pp. 62-81.
- Lemonnier, J.
1917 *Les études de P. Duhem sur Leonard de Vinci*, estratto da « Journal des Savants ».
- Lenin, V. I.
1970 *Materialismo ed empiriocriticismo*, trad. it., Milano.
- Lenzen, V.
1954 *The significance of physical theory*, « Science », CXIX, pp. 517-22.
- Leplin, J.
1969 *Meaning variance and the comparability of theories*, « Br. J. Phil. Sci. », XX, pp. 69-75.
1972 *Contextual falsification and scientific methodology*, « Phil. Sci. », XXXIV, pp. 476-90.
- Leray, A.
1885 *Essai sur la synthèse des forces physiques*, Paris.
1892 *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*, Paris.

Le Roux, F. P.

- 1860 *Recherches sur les courants thermo-électriques*, in *Société Chimique de Paris: Leçons de chimie professées en 1866 e 1867*, Paris, pp. 109-90.

Le Roy, E.

- 1899-1900 *Science et philosophie*, « *Revue Métaphys. Morale* », VII, pp. 375-425, 503-62, 708-31; VIII, pp. 37-72.
 1901 *Sur quelques objections adressées à la nouvelle philosophie*, « *Revue Métaphys. Morale* », IX, pp. 292-327, 407-32.
 1905 *Qu'est-ce qu'un dogme?*, « *Quinzaine* », XII, pp. 495-526.
 1938 *L'invention*, in AA. VV., 1938.

Levere, T. H.

- 1968 *Faraday, matter and natural theology. Reflections on an unpublished manuscript*, « *Br. J. Hist. Sci.* », IV, pp. 95-107.
 1971 *Affinity and matter*, Oxford.

Le Verrier, A.

- 1900 *Sur la genèse et la portée des principes de la thermodynamique*, in *Philosophie des sciences*, Paris, pp. 495-528.

Levystal, M. A.

- 1866 *M. E. Verdet*, « *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure* », III, pp. 343-51.

Levy, J.

- 1964 *The solar system; the eighteenth century*, trad. ingl., London.

Liard, L.

- 1888-94 *L'enseignement supérieur en France, 1789-1889*, 2 voll., Paris.

Libri, G.

- 1838-41 *Histoire des sciences mathématiques en Italie, depuis la renaissance des lettres jusqu'à la fin du dix-septième siècle*, 4 voll., Paris (rist. anast. Bologna 1966).

Lodwig, T. H. - Smeaton, W. A.

- 1974 *The ice calorimeter of Lavoisier and Laplace and some of its critics*, « *Ann. Sci.* », XXXI, pp. 1-18.

Lohne, J. A.

- 1968 *Experimentum crucis*, « *Notes Rec. R. Soc. Lond.* », XXIII, pp. 169-197.

Loisy, A.

- 1902 *L'Évangile et l'Église*, Paris.

Loria, G.

- 1938 *Nel secondo centenario della nascita di G. L. Lagrange 1736-1936*, « *Isis* », XXVII, pp. 366-75.

- Lovejoy, A. O.
1936 *The great chain of being*, Harvard (trad. it. Milano 1967).
- Lovell, D. J.
1968 *Herschel's dilemma in the interpretation of thermal radiation*, « *Isis* », LIX, pp. 46-60.
- Löw, R.
1980 *The progress of organic chemistry during the period of German romantic naturphilosophie (1795-1825)*, « *Ambix* », XXVII, pp. 1-10.
- Lowinger, A.
1941 *The methodology of Pierre Duhem*, New York.
- Lubomirski, A.
1974 *Henri Poincarégo filozofia geometrii*, Wrocław.
- Lunsingh Scheurleer, T. H. - Posthumus Meyjes, G. H. M. (a cura di)
1975 *Leiden University in the 17th century: an exchange of learning*, Leiden.
- Mabilleau, L.
1895 *Histoire de la philosophie atomistique*, Paris.
- Mach, E.
1872 *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, Praga.
1900 *Letture scientifiche e popolari*, trad. it., Milano.
1904 *La Mécanique, exposé historique et critique de son développement*, trad. franc., Paris.
1921 *Die prinzipien der physikalischen Optik, historisch und erkenntnispsychologisch entwickelt*, post., Leipzig.
1922 *La connaissance et l'erreur*, trad. franc., Paris.
1968 *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, trad. it., Torino.
1975 *L'analisi delle sensazioni*, trad. it., Milano.
- Machamer, P. K. - Turnbull, R. G. (a cura di)
1976 *Motion and time. Space and matter*, (s.l.), Ohio State University Press.
- Mack, P.
1977 *Physical reality in Maxwell's electrodynamics*, « *Synthesis* », III, pp. 44-58.
- Maindron, E.
1886 *L'oeuvre de J.-B. Dumas*, Paris.

Maiocchi, R.

- 1975 *Le considerazioni epistemologiche di Paul Langevin sulla meccanica quantistica ed i loro riflessi nella cultura francese anteguerra*, « *Scientia* », CX, pp. 493-518.
- 1976 *Osservazioni sul sorgere della meccanica ondulatoria nelle memorie di Schrödinger del 1926*, « *Quaderni di Storia e Critica della Scienza* », VII, pp. 391-406.
- 1978 *Il rapporto teoria-esperienza nel primo neopositivismo*, Milano.
- 1980 *Il rapporto teoria-esperienza nel primo neopositivismo*, Milano.
- 1980 *Il Galileo di Paul Feyerabend*, « *L'uomo, un segno* », IV, pp. 153-173.
- 1982 *Il mito del 'buon newtoniano': scienza e filosofia della scienza da Newton a Laplace*, « *ACME* », XXXV, pp. 369-444.

Malley, M.

- 1979 *The discovery of atomic transmutation: scientific styles and philosophies in France and Britain*, « *Isis* », LXX, pp. 213-23.

Mandelbaum, J.

- 1980 *La Société Philomatique de Paris de 1788 à 1835. Essai d'histoire institutionnelle et de biographie collective d'une société scientifique parisienne*, 2 voll., Paris.

Mandelbaum, M.

- 1971 *History, man & reason. A study in nineteenth-century thought*, Baltimore - London.

Mansion, P.

- 1893 *Sur les principes fondamentaux de la géométrie, de la mécanique et de l'astronomie*, Paris.

Manuel, F. E.

- 1974 *The religion of Isaac Newton*, Oxford.

Manville, O.

- 1926 *Qu'est-ce que la science? La réponse de Pierre Duhem*, estratto da « *Cahiers de la Nouvelle Journée* », n. 5.

Marcovich, A.

- 1977 *La théorie philosophique des rapports d'André-Marie Ampère*, « *Revue Hist. Sci. Applic.* », XXX, pp. 119-23.

Marcucci, S.

- 1969 *La teoria del metodo scientifico nell'epistemologia di W. Whewell*, « *Physis* », XI, pp. 379-89.
- 1970 *W. Whewell: kantianism or platonism?*, « *Physis* », XII, pp. 69-72.

Marie, M.

- 1883-88 *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, 12 voll., Paris.

- Maritain, J.
 1922 *Antimoderne*, Paris.
 1924 *Réflexions sur l'intelligence et sur sa vie propre*, Paris.
- Marlé, R.
 1960 *Au coeur de la crise moderniste (Le dossier inédit d'une crise controversée)*, Paris.
- Martin, R. N.
 1976 *The genesis of a mediaeval historian*, « Ann. Sci. », XXXIII, pp. 119-29.
 1982 *Darwin and Dubem*, « Hist. Sci. », XX, pp. 64-74.
- Mascart, J.
 1919 *La vie et les travaux du chevalier Jean-Charles de Borda*, estratto da « Annales de l'Université de Lyon », nuova ser., II, n. 33.
- Massieu, F.
 1869 *Sur les fonctions caractéristiques*, « Compt. Rend. », LXIX, pp. 858, 1057.
- Maxwell, J. C.
 1864 *A dynamical theory of electromagnetic field*, rist. in Tricker, 1966.
 1873 *Treatise on electricity and magnetism* (trad. it., Torino 1972, a cura di E. Agazzi).
 1885-87 *Traité d'électricité et de magnétisme*, trad. franc., 2 voll., Paris.
 1890 *The scientific papers of J. C. Maxwell*, a cura di W. D. Nivin, 2 voll., Cambridge (rist. an. New York 1965).
- Mayer, J.
 1970 *Portrait d'un chimiste: Guillaume François Rouelle (1703-1770)*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXIII, pp. 305-32.
- Mc Cann, H. G.
 1975 *The development and reception of the chemical revolution by the chemical communities of France and Great Britain, 1760-1795: a sociological case study*, « Diss. Abstr. Int. », XXXVI, 1830-A.
- Mc Cool, G. A.
 1977 *Catholic theology in the nineteenth century: the search for a unitary method*, New York.
- Mc Cormmach, R.
 1967 *Henri Poincaré and the quantum theory*, « Isis », LVIII, pp. 37-55.
 1976 *On academic scientist in Wilhelminian Germany*, in Holton - Blanpied, 1976.
 1982 *Night thoughts of a classical physicist*, Cambridge (Mass.).

Mc Gucken, W.

- 1969 *Nineteenth century spectroscopy: development of the understanding of spectra 1802-1897*, Baltimore.

Mc Guire, J. E.

- 1968 *Force, active principles and Newton's invisible realm*, « *Ambix* », XV, pp. 154-208.
 1978 *Newton on place, time and God: an unpublished source*, « *Brit. J. Hist. Sci.* », XI, pp. 114-29.

Mc Guire, J. E. - Rattansi, P. M.

- 1966 *Newton and the Pipes of Pan*, « *Notes Rec. R. Soc. Lond.* », XXI, 4°, pp. 117-140.

Mc Kie, D. - Heathcote, N. H. de V.

- 1935 *The discovery of specific and latent heats*, London.

Mc Rae, R.

- 1961 *The problem of the unity of the sciences: Bacon to Kant*, Toronto.

Mellor, D. H.

- 1968 *Models and analogies in science: Duhem versus Campbell?*, « *Isis* », LIX, pp. 282-90.

Mellor, D. P.

- 1971 *The evolution of the atomic theory*, New York.

Mémoires de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux, 7° ser., t. I dedicato a Duhem, 1° quaderno 1917, 2° 1927.

Mendelssohn, K.

- 1973 *The world of Walther Nernst. The rise and fall of german science*, London - Basningtoke.

Mentre, F.

- 1922 *P. Duhem, le théoricien (1861-1916)*, « *Revue de Philosophie* », XX, pp. 449-73, 608-27.

Merleau-Ponty, J.

- 1976 *Situation et rôle de l'hypothèse cosmogonique dans la pensée cosmologique de Laplace*, « *Revue Hist. Sci. Applic.* », XXIX, pp. 21-49.
 1977 *L' "Essai sur la philosophie des sciences" d'Ampère*, « *Revue Hist. Sci. Applic.* », XXX, pp. 113-8.

Merz, J. T.

- 1904-1912 *A history of european thought in the nineteenth century*, 4 voll., London (rist. anast. New York 1965).

Metz, A.

- 1963 *La notation atomique et la théorie atomique en France à la fin du XIX° siècle*, « *Revue Hist. Sci. Applic.* », XVI, pp. 233-39

Metzger, H.

- 1926 *La philosophie de la matière chez Stahl et ses disciples*, « Isis », VIII, pp. 427-65.
1927-28 *La théorie de la composition des sels et la théorie de la combustion d'après Stahl et ses disciples*, « Isis », IX, pp. 294-325.
1930 *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris.

Michel (abbé)

- 1890 *Conferences apologetiques*, Paris.

Mieli, A.

- 1915 *Le science Allemande di Pierre Dubem*, estratto da « Storia critica delle scienze mediche e naturali ».
1917 *L'opera di Pierre Dubem come storico della scienza*, Grottaferrata.

Milhaud, G.

- 1891 *De la certitude logique en mathématiques*, Montpellier.
1894 *Essai sur les conditions et les limites de la certitude logique*, Paris.
1898 *La science rationnelle. Le rationel*, Paris.
1905 *Note sur la raison chez Cournot*, « Revue Métaphys. Morale », XIII, pp. 307-18.
1906 *Études sur la pensée scientifique chez les Grecs et les modernes*, Paris.

Miller, A. I.

- 1973 *A study of Henri Poincaré's 'Sur la dynamique de l'électron'*, « Arch. Hist. Exact Sci. », X, pp. 207-328.

Miller, D.

- 1963 *Dubem and the Gibbs-Dubem equation*, « J. Chem. Ed. », XL, pp. 648-9.
1966 *Pierre Dubem*, « Physics Today », XIX, pp. 47-53.
1967 *Pierre Dubem: un oublié*, « Revue Quest. Scient. », XXVIII, pp. 445-70.

Millington, E. C.

- 1947 *Studies in capillarity and cohesion in the eighteenth century*, « Ann. Sci. », V, pp. 353-69.

Misland, J.

- 1874 *L'Angleterre et les nouveaux courants de la vie anglaise*, « Revue des deux mondes », 3^a ser., IV, pp. 5-30, 366-88.

Mitchell, I.

- 1978 *Marxism and german scientific materialism*, « Ann. Sci. », XXXV, pp. 379-400.

Mondella, F.

- 1974 *Quantità e qualità nel 'saggio' di Bergson del 1889*, in Id., *Studi sulla reazione idealistica alla scienza*, Cagliari.

Monna, A. D. A.

- 1976 *Recent literature concerning the history of science in the Netherlands*, « Janus », LXIII, pp. 303-8.

Montagu, M. F. A. (a cura di)

- 1946 *Studies and essays in the history of science and learning in honor of George Sarton*, New York.

Montucla, J. E.

- 1758 *Histoire des mathématiques ...*, Paris, 2 voll., nuova ediz. a cura di J. De La Lande, 4 voll., Paris 1799-1802.

Montuciard, M.

- 1965 *Conscience religieuse et démocratie. La deuxième démocratie chrétienne en France, 1891-1902*, Paris.

Moody, J. N.

- 1968 *The Church as enemy: anticlericalism in nineteenth century french thought*, Washington.

- 1971 *French anticlericalism: image and reality*, « Catholic Hist. Rev. », LVI, pp. 630-48.

Mooij, J. J. A.

- 1966 *La philosophie des mathématiques de H. Poincaré*, Paris.

Moon, R.

- 1849 *Fresnel and his followers. A criticism ...*, Cambridge.

Moravia, S.

- 1968 *Il tramonto dell'illuminismo. Filosofia e politica nella società francese, 1770-1810*, Bari.

- 1974 *Il pensiero degli 'idéologues': scienza e filosofia in Francia (1780-1815)*, Firenze.

Moreau, J.

- 1967 *Allocution*, « Études Philosophiques », IV, pp. 393-8.

Morel, G.

- 1896 *L'évolution des théories physiques et l'évolution des dogmes*, Paris.

Morrell, J. B.

- 1971 a *The university of Edinburgh in the late eighteenth century: its scientific eminence and academic structure*, « Isis », LXII, pp. 158-71.

- 1971 b *Individualism and the structure of british science in 1830*, « Historical Stud. Phys. Sci. », III, pp. 183-204.

- 1971 c *Professors Robison and Playfair and the theophobia-gallica: natural*

- philosophy, religion, and politics in Edinburgh, 1789-1815*, « Notes. Rec. R. Soc. Lond. », XXVI, pp. 43-60.
- 1972 *Science and scottish university reform: Edinburgh in 1826*, « Br. J. Hist. Sci. », VI, pp. 39-56.
- 1974 *Reflections on the history of scottish science*, « Hist. Sci. », XII, pp. 81-94.
- Morris, R. J.
1972 *Lavoisier and the caloric theory*, « Br. J. Hist. Sci. », VI, pp. 1-38.
- Morselli, E.
1895 *La pretesa bancarotta della scienza*, Palermo.
- Moutier, J.
1872 *Eléments de thermodynamique*, Paris.
1881 *Relation de la physique et de la chimie*, Paris.
1883-84 *Cours de physique*, 2 voll., Paris.
- Moyer, D. F.
1973 *The use of dynamics as basis of physical theory by british theoretical physicists in the latter half of the 19th century*, « Diss. Abs. Int. », XXXIV, pp. 685-A.
1977 *Energy, dynamics, hidden machinery: Rankine, Thomson and Tait, Maxwell*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », VIII, pp. 251-68.
1978 *Continuum mechanics and field theory: Thomson and Maxwell*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », IX, pp. 35-50.
- Müller, F. A.
1886 *Das Problem der Kontinuität in der Mathematik und Mechanik*, Marburg.
- Musgrave, A.
1976 *Why did oxygen supplant phlogiston? Research programmes in the chemical revolution*, in Howson, 1976, pp. 181-209.
- Nadal, A.
1959 *Gaston Milbaud (1858-1918)*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XII, pp. 97-110.
- Naville, E.
1891 *La science et le matérialisme*, Genève.
- Negoita, C. V.
1981 *Pierre Duhem and the Principle of uncertainty*, in « International Congress of the History of Science. 16th Proceedings », A. Scientific Sections, A 13 Methodological Problems in the history and philosophy of science, 467, Bucarest.

- Neumann, C.
1870 *Über die Prinzipien der Galilei-Newtonschen Theorie*, Leipzig.
- Neurath, O.
1968 *Sociologia e neopositivismo*, trad. it. a cura di G. Statera, Roma.
- Newton, I.
1967 *Principi matematici della filosofia della natura*, trad. it. a cura di A. Pala, Torino.
1975 *Theory of the moon's motion (1702). With a bibliographical and historical introduction by I. B. Cohen*, Folkestone.
1978 *Scritti di ottica di Isaac Newton*, trad. it. a cura di A. Pala, Torino.
- Nieuwentyt, B.
1719² *The religious philosopher: or, the right use of contemplation the the works of the Creator*, London.
- Noel, L.
1932 *Le progrès de l'épistémologie thomiste*, « *Revue thomiste, néo-scolastique et philosophie* », Nov., pp. 429-448.
- Nye, M. J.
1972 *Molecular reality. A perspective on the scientific work of Jean Perrin*, London - New York.
1974 *Gustave Le Bon's black light: a study in physics and philosophy in France at the turn of the century*, « *Historical Stud. Phys. Sci.* », IV, pp. 163-95.
1975 *The scientific periphery in France: the Faculty of Science at Toulouse (1880-1930)*, « *Minerva* », XIII, pp. 374-403.
1976 a *The 19th-century atomic debates and the dilemma of an 'indifferent hypothesis'*, « *Stud. Hist. Phil. Sci.* », VII, pp. 245-68.
1976 b *The moral freedom of man and the determinism of nature: the catholic synthesis of science and history in the 'Revue des Questions Scientifiques'*, « *Br. J. Hist. Sci.* », IX, pp. 274-92.
1977 *Nonconformity and creativity: a study of Paul Sabatier, chemical theory, and the french scientific community*, « *Isis* », LXVIII, pp. 375-91.
1979 *The Boutroux circle and Poincaré's conventionalism*, « *J. Hist. Ideas* », XL, pp. 107-20.
1980 *N-rays: an episode in the history and psychology of science*, « *Historical Stud. Phys. Sci.* », XI, pp. 125-56.
1981 *Berthelot's anti-atomisme: a 'matter of taste'?*, « *Ann. Sci.* », XXXVIII, pp. 585-90.
- Oldroyd, D. R.
1973 *An examination of G. E. Stahl's 'Philosophical principles of universal chemistry'*, « *Ambix* », XX, pp. 36-52.

- Olgiati, F.
1929 *Edouard Le Roy e il problema di Dio*, Milano.
- Olson, R.
1970 *Count Rumford, Sir John Leslie, and the study of the nature of propagation of heat at the beginning of the nineteenth century*, « Ann. Sci. », XXVI, pp. 273-304.
1971 *Scottish philosophy and mathematics, 1750-1830*, « J. Hist. Ideas », XXXII, pp. 29-44.
1975 *Scottish philosophy and british physics 1750-1880. A study in the foundations of the Victorian scientific style*, Princeton.
- O' Malley, J. J.
1965 *Physique et cosmologie: leurs relations dans la philosophie de la science de Pierre Duhem*, « Revue Quest. Scient. », XXVI, pp. 49-65.
1968 *Material being and scientific knowledge according to P. Duhem*, « Diss. Abs. Int. », XXIX, p. 3224-A.
- Ortolan, T.
1898 a *Savants et chrétiens*, Paris.
1898 b *La fausse science contemporaine et les mystères d'outretombe*, Paris.
1898 c *Vie et matière, ou matérialisme et spiritualisme en présence de la cristallogénie*, Paris.
s. d. *Rivalités scientifiques, ou science catholique et la prétendue impartialité des historiens*, 3 voll., Paris.
- Ostwald, W.
1895 *La dérouté de l'atomisme contemporain*, « Revue Gén. Sci. », VI, pp. 953-958.
1902 *Vorlesungen über Naturphilosophie*, Leipzig.
1909 *L'évolution d'une science. La chimie*, trad. franc., Paris.
- Outram, D.
1980 *Politics and vocation: French science, 1793-1830*, « Br. J. Hist. Sci. », XIII, pp. 27-43.
- Ozouf, M.
1963 *L'école, l'église et la république, 1871-1914*, Paris.
- Painlevé, P.
1891 *La science vaut-elle l'effort scientifique?*, Lille.
- Pannekoek, A.
1961 *A history of astronomy*, London.
- Parodi, D.
1919 *La philosophie contemporaine en France*, Paris.
1930 *Du positivisme à l'idéalisme. Philosophie d'hier*, Paris.

Parrini, P.

1980 *Una filosofia senza dogmi: materiali per un bilancio dell'empirismo contemporaneo*, Bologna.

1983 *Empirismo logico e convenzionalismo*, Milano.

Partington, J. R.

1961-64 *A history of chemistry*, 4 voll., London - New York.

Pasquinelli, A.

1964 *Nuovi principi di epistemologia*, Milano.

Pater, C. D.

1977 *Petrus van Musschenbroek (1692-1761): a dutch newtonian*, « Janus », LXIV, pp. 77-87.

Paul, H. W.

1967 *The second ralliement: the rapprochement between Church and State in France in the twentieth century*, Washington.

1968 *The debate over the bankruptcy of science in 1895*, « French Historical Studies », V, pp. 299-327.

1969 *In quest of kerygma. Catholic intellectual life in 19th century France*, New York.

1971 a *The issue of decline in 19th-century french science*, « French Historical Studies », VII, pp. 416-50.

1971 b *Science and the catholic institutes in 19th-century France*, « Societas », I, pp. 271-85.

1972 a *The sorcerer's apprentice: the french scientist's image of german science, 1840-1919*, Gainesville.

1972 b *The crucifix and the crucible: catholic scientists in the Third Republic*, « The Catholic Historical review », LVIII, pp. 195-219.

1972 c *Pierre Duhem: science and the historian craft*, « J. Hist. Ideas », XXXIII, pp. 479-512.

1974 *La science française de la seconde partie du XIX^e siècle vue par les auteurs anglais et américains*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXVII, pp. 147-63.

1976 *Scholarship versus ideology: the chair of the general history of science at the Collège de France, 1892-1913*, « Isis », LXVII, pp. 376-97.

1979 *The edge of contingency: french catholic reaction to scientific changes from Darwin to Duhem*, Gainesville.

Paul, J. P.

1970 *An analysis and evaluation of Henri Poincaré's cosmology and philosophy of science*, « Diss. Abs. Int. », XXXI, p. 427-A.

Pavan, A.

1967 *La formazione del pensiero di J. Maritain*, Padova.

- Pearson, K.
1892 *Grammar of science*, London.
- Pellis, E.
1888 *La philosophie de la mécanique*, Paris.
- Perrin, C. E.
1973 *Lavoisier's table of the elements: a reappraisal*, « Ambix », XX, pp. 95-105.
- Perrin, E.
1927 *La vie d'un savant, Marcelin Berthelot*, Paris.
- Perrin, J.
1903 *Traité de chimie physique. Les principes*, Paris.
1913 *Les atomes*, Paris.
- Pesenti Cambursano, O.
1961 *L'ipotesi della intelligenza assoluta in Condorcet ed in Laplace*, « Miscellanea Storica Ligure », III, pp. 237-56.
1967 *Introduzione a Laplace*, 1967.
- Petersen, A.
1968 *Quantum physics and the philosophical tradition*, Cambridge.
- Petit, G. - Leudet, M. (a cura di)
1916 *Les allemands et la science*, Paris.
- Petrucchioli, S.
1972 *L'opera scientifica di Henri Poincaré e la 'crisi' della fisica alla fine del XIX secolo: il significato della sua riflessione epistemologica*, « Physis », XIV, pp. 120-3.
- Petzoldt, J.
1916 *Die Existenz der Atome*, « Chemiker-Zeitung », XL, p. 846.
- Pfetsch, F.
1970 *Scientific organization and science policy in imperial Germany, 1871-1914: the foundations of the Imperial Institute of Physics and Technology*, « Minerva », VIII, pp. 557-80.
- Picard, E.
1901 *Exposition universelle internationale de 1900 à Paris. Rapport du Jury internationale. Introduction général. Deuxième parti. Sciences*, Paris.
1904 *Introduction a Mach*, 1904.
1916 *L'histoire des sciences et les prétentions de la science allemande*, 2^a ediz., Paris.
1926 *Éloge (à M. Gouy)*, « Comptes Ren. », CLXXXII, pp. 293-5.
1931 *La vie et l'oeuvre de J. B. Biot*, in Id., *Éloges et discours académiques*, Paris, pp. 221-87.

- Pillon, F.
1897 *Les lois de la nature*, « Revue philosophique de la France et de l'Étranger », XLIII, pp. 56-79.
- Planck, M.
1896 *Gegen die Neuere Energetik*, « Annalen der Physik und Chemie », LVII, pp. 72-8.
- Plessner, H.
1966 *Zur Soziologie der modernen Forschung und ihrer Organization in der deutschen Universität. Tradition und Ideologie, Diesseits der Utopie*, Hamburg.
- Poincaré, H.
1889 *Théorie mathématique de la lumière*, Paris.
1893 *Le mécanisme et l'expérience*, « Revue Métaphys. Morale », I, pp. 534-7.
1894 *Sur la théorie cinétique des gaz*, « Revue générale des sciences », V, pp. 513-21.
1900 *Sur les principes de la Mécanique*, in *Philosophie des Sciences*, Paris.
1901 *Electricité et optique*, Paris.
1902 a *La science et l'hypothèse*, Paris.
1902 b *Sur la valeur objective de la science*, « Revue Métaphys. Morale », X, pp. 263-93.
1905 *La valeur de la science*, Paris.
- Poincaré, L.
1908 *La physique moderne, son évolution*, Paris.
- Poinsot, L.
1806 *Théorie générale de l'équilibre et du mouvement des systèmes*, rit. in Id., *Eléments de statique*, 1842^s, Paris.
- Pointud-Guillemot, B.
1917 *Essai sur la philosophie de Gratry*, Paris.
- Poirier, R.
1960 *Meyerson, Milhaud et le problème de l'épistémologie*, « Bulletin de la Société Française de Philosophie », LV, pp. 65-94.
1967 *Epistémologie de Pierre Dubem et sa valeur actuelle*, « Études philosophiques », IV, pp. 399-419.
- Poisson, S. D.
1828 *Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*, « Annales de Chimie », XXXVII, pp. 337-55.
- Polanyi, M.
1958 *Personal knowledge*, London.

- Pomian, K.
 1975 *L'histoire de la science et l'histoire de l'histoire*, « Annales, Economies, Sociétés, Civilisations », XXX, pp. 935-952.
- Popper, K. R.
 1969 *Congetture e confutazioni*, trad. it., Bologna.
 1970 *Logica della scoperta scientifica*, trad. it., Torino.
 1976 *La scienza normale e i suoi pericoli*, trad. it. in Giorello, 1976.
- Porter, T. M.
 1981 *A statistical survey of gases: Maxwell's social physics*, « Historical Stud. Phys. Sci. », XII, pp. 77-116.
- Pouchet, G.
 1896 *Les sciences pendant la Terreur*, Paris.
- Poulat, E.
 1962 *Histoire, dogme et critique dans la crise moderniste*, Paris.
- Price, W. C. - Chissick, S. C. (a cura di)
 1977 *The uncertainty principle and foundations of quantum mechanics: a fifty years' survey*, New York.
- Prost, A.
 1968 *Histoire de l'enseignement en France, 1800-1967*, Paris.
- Pyenson, L. - Skopp, D.
 1977 *Educating physicists in Germany circa 1900*, « Soc. Stud. Sci. », VII, pp. 329-66.
- Pyenson, L.
 1982 *Cultural imperialism and exact sciences: German expansion overseas 1900-1930*, « Hist. Sci. », XX, pp. 1-43.
- Quine, W. V.
 1966 *Il problema del significato*, trad. it., Roma.
- Quinn, P.
 1969 *The status of the D-thesis*, « Phil. Sci. », XXXVI, pp. 381-99.
 1974 *What Duhem really meant*, « Boston Stud. Phil. Sci. », XXVII, pp. 33-56.
 1978 *Discussion: rejoinder to Tuana*, « Phil. Sci. », XLV, pp. 463-5.
- Radau, R.
 1875 *Le magnetisme*, Paris.
- Raman, V. V.
 1975 *The permeation of thermodynamics into 19th century chemistry*, « Indian J. Hist. Sci. », X, pp. 16-37.

- Ramunni, G. - Costabel, P. (pref.)
1981 *Les conceptions quantiques de 1911 à 1927*, Paris.
- Ranc, A.
1948 *Pour connaître la pensée de Marcelin Berthelot*, Paris.
- Rankine, W. J.
1855 *Outlines of the science of energetics*, in Id., 1881, pp. 209-29.
1881 *The miscellaneous scientific papers of William John Macquorn Rankine*, London.
- Rappaport, R.
1961 *Rouelle and Stahl. The phlogistic revolution in France*, « Chymia », VII, pp. 73-102.
- Rauh, F.
1895 *Science, morale et religion*, « Revue Métaphys. Morale », III, pp. 366-74.
- Rausky, F.
1977 *Mesmer ou la révolution thérapeutique*, Paris.
- Reardon, M. F.
1977 *Science and religious modernism: the new apologetic in France, 1890-1913*, « Journal of Religion », LVII, pp. 48-63.
- Redondi, P.
1975 a *Note orientative sugli indirizzi dell'epistemologia e della storia della scienza in Francia*, « Scientia », CX, pp. 137-69.
1975 b *Problemi epistemologici della storia quantitativa*, « Scientia », CX, pp. 847-74.
1976 *Sadi Carnot et la recherche technologique en France de 1825 à 1850*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXIX, pp. 243-259.
1978 a *Epistemologia e storia della scienza*, Milano.
1978 b (a cura di) *La verità degli eretici*, Milano.
- Redwood, J.
1976 *Reason, ridicule and religion. The age of enlightenment in England 1660-1750*, London.
- Regnault, H. V.
1847-70 *Relation des expériences entreprises par ordre du ministre des travaux publics pour déterminer les principales lois et les données physiques nécessaires au calcul des machines à feu*, Paris.
- Reichenbach, H.
1977 *Filosofia dello spazio e del tempo*, trad. it., Milano.
- Rey, A.
1904 *La philosophie scientifique de M. Duhem*, « Revue Métaphys. Morale », XII, pp. 699-744.

- 1907 a *La théorie de la physique chez les physiciens contemporaines*, Paris.
- 1907 b *L'énergétique et le mécanisme au point de vue de la théorie de la connaissance*, Paris.
- 1918 *La renaissance du cinétisme*, Boulogne.
- 1946-48 *L'apogée de la science technique grecque* (post.), 2 voll., Paris.
- Richards, J. L.
- 1977 *The evolution of empiricism: Hermann von Helmholtz and the foundations of geometry*, « Br. J. Phil. Sci. », XXVIII, pp. 235-53.
- Richet, C.
- 1895 *La science a-t-elle fait banqueroute?*, « Revue scientifique », III, pp. 33-9.
- Ringer, F.
- 1969 *The decline of the german mandarins: the german academic community, 1890-1933*, Cambridge (Mass.).
- Robertson, J. C.
- 1976 *A Bacon-facing generation: scottish philosophy in the early 19th century*, « J. Hist. Phil. », XIV, pp. 37-49.
- Roche, D.
- 1974 *Sciences et pouvoirs dans la France du XVIII^e siècle, 1666-1803*, « Annales ESC », XXIX, pp. 738-48.
- Rocke, A. J.
- 1981 *Kekulé, Butlerov, and the historiography of the theory of chemical structure*, « Br. J. Hist. Sci. », XIV, pp. 27-57.
- Roderick, G. W. - Stephens, M. D.
- 1972 *Scientific and technical education in 19th-century England. A symposium*, Newton Abbot.
- Roller, D.
- 1966 *The early development of the concepts of temperature and heat. The rise and decline of the caloric theory*, Cambridge.
- 1975² (a cura di) *Perspectives in the history of science and technology*, Norman.
- Rosmorduc, J.
- 1972 *Une erreur scientifique au début de siècle: 'Les rayons N'*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXV, pp. 13-25.
- 1977 *Ampère et l'optique: une intervention dans le débat sur la transversalité de la vibration lumineuse*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXX, pp. 159-67.
- Rossi, A.
- 1976 *Boscovich e Faraday*, « Physis », XVIII, pp. 287-96.

Rossi, P.

- 1972 *Problemi e prospettive della storiografia della scienza*, « Rivista di Filosofia », LXIII, pp. 103-28.
- 1975 *Tradizione ermetica e rivoluzione scientifica*, « Rivista di Filosofia », LXVI, pp. 20-56.
- 1978 (a cura di) *Filosofia scienza e politica nel Settecento francese*, Firenze.
- 1981 *Fatti scientifici e stili di pensiero: appunti intorno a una rivoluzione immaginaria*, « Rivista di Filosofia », LXXII, pp. 403-28.

Rothschuh, K.

- 1953 *Geschichte der Physiologie*, Berlin.

Rouse, H. - Ince, S.

- 1957 *History of hydraulics*, rist. New York 1963.

Roustan, D.

- 1914 *La science comme instrument vital*, « Revue Métaphys. Morale », XXII, pp. 612-43.

Roy, L.

- 1923 *L'électrodynamique des milieux isotropes en repos d'après Helmholtz et Dubeni*, Paris.

Ruse, M.

- 1976 *The scientific methodology of W. Whewell*, « Centaurus », XX, pp. 227-57.

Russo, F.

- 1974 *Epistemologie et histoire des sciences*, « Arcs. Phil. », XXXVII, pp. 617-57.

Sadoun-Goupil, M.

- 1974 a *Science pure et science appliquée dans l'oeuvre de C.-L. Berthollet*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXVII, pp. 127-45.
- 1974 b *Un manuscrit inédit de C.-L. Berthollet*, « Physis », XVI, pp. 347-76.
- 1976 a *L'enseignement des sciences expérimentales à l'École Polytechnique sous la Révolution et l'Empire*, in « Compt. Rend. 100 Congr. Nat. Soc. Savant. Sect. Sciences, 1975 » (pubbl. 1976), III, pp. 113-28.
- 1976 b *La correspondance du chimiste C.-L. Berthollet (1748-1822)*, « Revue Synth. », XCVII, pp. 131-36.
- 1977 a *Le chimiste Claude-Louis Berthollet (1748-1822): sa vie, son oeuvre*, Paris.
- 1977 b *Esquisse de l'oeuvre d'Ampère en chimie*, « Revue Hist. Sci. Applic. », XXX, pp. 125-41.
- 1979 *Henri Sainte-Claire Deville contre l'atomisme et les forces chimiques*, « L'actualité chimique », avril, pp. 39-42.

Saffin, N. W.

- 1973 *Science, religion and education in Britain, 1804-1904*, Kilmore (Australia).

Sainte-Claire Deville, H.

- 1860 *Recherches sur la décomposition des corps par la chaleur et la dissociation*, « Bibliothèque Universelle, Archives », nouv. périod., IX, pp. 51-68.
- 1866 *Leçons sur la dissociation professées devant la Société Chimique le 18 mars et le 1^{er} avril 1864*, Paris.
- 1869 *Leçons sur l'affinité professées devant la Société Chimique le 28 février et le 6 mars 1867*, in Société Chimique de Paris, *Leçons de chimie professées en 1866 et 1867*, Paris, pp. 1-85.

Sainte-Claire Deville, H. - Debray, H.

- 1867-68 *Recherches sur la dissociation*, « Compt. Ren. », LXIV, p. 607; LXVI, p. 194.

Salomon-Bayet, C.

- 1978 *L'institution de la science et l'expérience du vivant: méthode et expérience à l'Académie Royal des Sciences 1666-1793*, Paris.

Sanzo, U.

- 1975 *Significato epistemologico della polemica Poincaré-Couturat*, « Scientia », CX, pp. 369-95.

Sarton, G.

- 1913 *L'histoire de la science*, « Isis », I, pp. 3-46.
- 1952 *A. Comte, historian of science*, « Osiris », X, pp. 328-57.

Sarton, G. - Tannery, N. P.

- 1937 *Appel pour l'achèvement du 'Système du monde'*, « Isis », XXVI, pp. 302-3.

Schaffner, K. F. (a cura di)

- 1972 *Nineteenth-century aether theories*, Oxford.

Schagrin, M. L.

- 1973 *Whewell's theory of scientific language*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », IV, pp. 231-40.

Schiaparelli, G.

- 1925-27 *Scritti sulla storia dell'astronomia antica*, 3 voll., a cura di A. Schiaparelli e L. Gabba, Bologna.

Schilpp, A.

- 1958 (a cura di) *Albert Einstein, scienziato e filosofo*, trad. it., Torino.
- 1974 (a cura di) *La filosofia di Rudolf Carnap*, trad. it., 2 voll., Milano.

- Schlick, M.
 1917 *Raum und Zeit in gegenwärtige Physik*, Berlin.
 1918 *Allgemeine Erkenntnislehre*, Berlin.
 1974 *Tra realismo e neopositivismo*, trad. it., Bologna.
- Schmid, A.-F.
 1978 *Une philosophie de savant: Henri Poincaré et la logique mathématique*, Paris.
- Schneid, J.
 1890 *Philosophie de la nature d'après S. Thomas*, Paderborn.
- Schofield, R. E.
 1970 *Mechanism and materialism. British natural philosophy in an age of reason*, Princeton.
 1975 *The counter-reformation in eighteenth-century science. Last phase*, in Roller, 1975, pp. 39-54.
- Schonland, B.
 1968 *The atomists (1805-1933)*, Oxford.
- Schützemberger, P.
 1880-94 *Traité de chimie générale*, 7 voll., Paris.
 1898 *Leçons de chimie générale, professées au Collège de France pendant l'année 1895-96*, Paris.
- Schwabe, K.
 1961 *Zur politischen Haltung den deutschen Professoren in ersten Weltkrieg*, « Historische Zeitschrift », CXCI, pp. 601-34.
- Schweber, S. S.
 1980 *Early Victorian science: science in culture*, « J. Hist. Biol. », XIII, pp. 121-40.
- Scott, W. L.
 1970 *The conflict between atomism and conservation theory, 1644-1860*, London - New York.
- Seeger, R. J.
 1974 *J. Willard Gibbs: american mathematical physicist par excellence*, Oxford.
- 'sGravesande, G. J.
 1774 *Oeuvres philosophiques et mathématiques de Mr. G. J. 'sGravesande*, 2 voll., Amsterdam.
- Shapin, S.
 1974 *The audience for science in eighteenth century Edinburgh*, « Hist. Sci. », XII, pp. 95-112.

Shapin, S. - Thackray, A. W.

- 1974 *Prosopography as a research tool in the history of science: the British scientific community, 1700-1900*, « Hist. Sci. », XII, pp. 1-28.

Sharlin, H. I. .

- 1975 *William Thomson's dynamical theory: an insight into a scientist's thinking*, « Ann. Sci. », XXXII, pp. 133-47.

Sharlin, H. I. - Sharlin, T. (coll.)

- 1979 *Lord Kelvin: the dynamic Victorian*, London.

Sheynin, O. B.

- 1976 *P. S. Laplace's work on probability*, « Arcs. Hist. Exact Sci. », XVI, pp. 137-87.
 1977 *Laplace's theory of errors*, « Arcs. Hist. Exact Sci. », XVII, pp. 1-61.
 1978 *S. D. Poisson's work on probability*, « Arcs. Hist. Exact Sci. », XVIII, pp. 245-300.

Shinn, T.

- 1979 *The french science faculty system, 1808-1914: institutional change and research potential in mathematics and the physical sciences*, « Historical Stud. Phys. Sci. », X, pp. 271-332.

Shorland, E.

- 1973 *The last of the philosophers: Sir John Herschel, Bart., 1792-1871*, « J. Br. Astr. Ass. », LXXXIII, pp. 335-40.

Sidermann, V.

- 1895 *La faillite de la science*, Paris.

Siegel, D. M.

- 1975 *Completeness as a goal in Maxwell's electromagnetic theory*, « Isis », LXVI, pp. 361-8.

Siegfried, R.

- 1972 *Lavoisier's view of the gaseous state and its early application to pneumatic chemistry*, « Isis », LXIII, pp. 59-68.

Silliman, R. H.

- 1963 *W. Thomson: smoke rings and nineteenth-century atomism*, « Isis », LIV, pp. 461-74.
 1974 *Fresnel and the emergence of physics as a discipline*, « Historical Stud. Phys. Sci. », IV, pp. 137-62.

Silver, H. - Teague, S. J.

- 1970 *The history of british universities, 1800-1969, excluding Oxford and Cambridge: a bibliography*, London.

Simpson, T. K.

- 1966 *Maxwell and the direct experimental test of his electromagnetic theory*, « Isis », LVII, pp. 411-32.

- 1970 *Some observations on Maxwell's Treatise on electricity and magnetism: on the role of the dynamical theory of the electromagnetic field in part IV of the Treatise*, « Stud. Hist. Phil. Sci. », I, pp. 249-63.
- Simpson, W. J. S.
1935 *Religions thought in France in the nineteenth century*, London.
- Sklar, L.
1967 *The falsificability of geometric theories*, « J. Phil. », LXIV, pp. 247-53.
- Smart, J. J. C.
1951 *H. Hertz and the concept of force*, « Australasian J. Phil. », XXIX, pp. 36-45.
- Smeaton, W. A.
1961 *Guyton de Morveau's course of chemistry in the Dijon Academy*, « Ambix », IX, pp. 53-69.
1963 *Guyton de Morveau and chemical affinity*, « Ambix », XI, pp. 55-64.
1966 *Macquer on the composition of metals and the artificial production of gold and silver*, « Chymia », XI, pp. 81-88.
1967 *Louis Bernard Guyton de Morveau and his relations with british scientists*, « Notes Rec. R. Soc. Lond. », XXII, pp. 113-30.
1977 *Berthollet's 'Essai de statique chimique' and its translations: a biographical note and a daltonian doubt*, « Ambix », XXIV, pp. 149-58.
- Smith, C. W.
1976 a *Faraday as referee of Joule's Royal Society paper 'On the mechanical equivalent of heat'*, « Isis », LXVII, pp. 444-9.
1976 b *'Mechanical philosophy' and the emergence of physics in Britain: 1800-1850*, « Ann. Sci. », XXXIII, pp. 3-29.
1976 c *Natural philosophy and thermodynamics: W. Thomson and 'the dynamical theory of heat'*, « Br. J. Hist. Sci. », IX, pp. 293-320.
1977 *W. Thomson and the creation of thermodynamics: 1840-1855*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XVI, pp. 231-88.
1978 *A new chart for british natural philosophy: the development of energy physics in the nineteenth century*, « Hist. Sci. », XVI, pp. 231-79.
- Snelders, H. A. M.
1970 *Romanticism and Naturphilosophie and the inorganic natural sciences 1797-1840: an introductory survey*, « Stud. Roman. », IX, pp. 193-215.
1973 *The birth of stereochemistry: an analysis of the 1874 papers of J. H. van't Hoff and A. J. Le Bel*, « Janus », LX, pp. 261-78.
1977 *Dissociation, darwinism and entropy: a case-study from the history of physical chemistry*, « Janus », LXIV, pp. 51-75.
1978 *Physics and chemistry in the Netherlands in the period 1750-1850*, « Janus », LXV, pp. 1-20.

Société d'Arcueil

1807 *Mémoires de physique et de chimie*, I, Paris.

Solov'ev, J. I.

1976 *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*, trad. it., Milano.

Sorel, G.

1891-92 *Les fondements scientifiques de l'atomisme*, « *Annls. Phil. Chrèt.* », CXXIII (1891-92), pp. 577-94; CXXIV (1892), pp. 5-32.

1892-93 *Deux nouveaux sophismes sur le temps*, « *Annls. Phil. Chrèt.* », CXXV, pp. 243-63, 301-14.

1905 *Les préoccupations métaphysiques des physiciens modernes*, « *Revue Métaphys. Morale* », XIII, pp. 859-89.

Spencer, J. B.

1967-78 *Boscovich's theory and its relation to Faraday's researches: an analytic approach*, « *Arch. Hist. Exact Sci.* », IV, pp. 184-202.

Stallo, B.

1881 *Concepts and theories of modern physics*, New York.

1891 *La matière et la physique moderne*, trad. franc., Paris.

Staum, M. S.

1976 *Science and government in the French Revolution*, in Knafka, 1976.

Stephens, M. D. - Roderick, G. W.

1973 *American and english attitudes to scientific education during the 19th century*, « *Ann. Sci.* », XXX, pp. 435-56.

Stiegler, K.

1974 *On the origin of the so-called Laplacean determinism* « *Actes XIII^e Cong. Int. Hist. Sci. 1971* » (pubbl. 1974), VI, pp. 307-12.

Stigler, S. M.

1975 *Studies in the history of probability and statistics, XXXV: Napoleonic statistics: the work of Laplace*, « *Biometrika* », LXII, pp. 503-17.

1978 *Laplace's early work: chronology and citations*, « *Isis* », LXIX, pp. 234-254.

Streinz, H.

1883 *Die physikalischen Grundlagen der Mechanik*, Leipzig.

Stricker, S.

1883 *Studien ueber die Assoziation der Vorstellungen*, Vienna.

Strong, J. V.

1976 *The 'Erkenntnistheoretiker's' dilemma: J. B. Stallo's attack on atomism in his 'Concepts and theories of modern physics' (1881)*, « *PSA* », 1974 (pubbl. 1976), pp. 105-23.

- Stuewer, H. (a cura di)
 1970 *Historical and philosophical perspectives of science*, Minneapolis.
- Süsskind, C.
 1964 *Observations of electromagnetic-wave radiation before Hertz*, « *Isis* », LV, pp. 32-42.
- Sutton, M. A.
 1970-71 *J. F. Daniell and the Boscovician atom*, « *Stud. Hist. Phil. Sci.* », I, pp. 277-92.
- Sutton, G.
 1981 *Electric medicine and mesmerisme*, « *Isis* », LXXII, pp. 375-92.
- Sviedrys, R.
 1970 *The rise of physical science at Victorian Cambridge*, « *Historical Stud. Phys. Sci.* », II, pp. 127-51.
- Swoboda, W. W. G. J.
 1974 *The thought and work of the young Ernst Mach and the antecedents to his philosophy*, « *Diss. Abs. Int.* », XXXV, p. 1607-A.
- Szabadvary, F.
 1973 *Antoine Laurent Lavoisier: Der Forscher und seine Zeit, 1743-1794*, Stuttgart.
- Szabó, I.
 1977 *Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer wichtigsten Anwendungen*, Basel.
- Taine, H.
 1864 a *Histoire de la littérature anglaise*, 5 voll., Paris.
 1864 b *Le positivisme anglais, étude sur Stuart Mill*, Paris.
- Tannery, J.
 1893-1902 *Introduction à la théorie des fonctions elliptiques*, 4 voll., Paris.
 1912 *Science et philosophie*, Paris.
- Tannery, P.
 1877 *Pour l'histoire de la science hellène. De Thalès à Empédocle*, Paris.
 1893 *Recherches sur l'histoire de l'Astronomie ancienne*, Paris.
 1904 *Les sociétés savantes et l'histoire des sciences*, comparso dapprima nel « *Bulletin des sciences économiques et sociales du Comité des travaux historiques et scientifiques* », poi separatamente nel 1906.
 1905 *Comte et l'histoire des sciences*, estratto da « *Revue générale des sciences* ».
 1907 (a cura di J. Tannery) *Programme d'un cours d'histoire des sciences*, Paris.

- 1876-1950 *Mémoires scientifiques*, 17 voll., Toulouse.
- Tarsitani, C.
 1972 *Il superamento teorico e critico dell'elettrodinamica dell'azione a distanza nell'opera di Hertz*, «Quaderni di Storia e Critica della Scienza», II, pp. 107-67.
- Taton, R.
 1951 *L'oeuvre scientifique de Monge*, Paris.
 1957-64 (a cura di) *Histoire général des sciences*, 4 voll., Paris.
 1969 *Madame du Châtelet, traductrice de Newton*, «Arcs. Int. Hist. Sci.», XXII, pp. 185-210.
 1974 *Inventaire chronologique de l'oeuvre de Lagrange*, «Revue Hist. Sci. Applic.», XXVII, pp. 3-36.
 1976 (a cura di) *Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique. Actes de la table ronde du C.N.R.S. (École Polytechnique, Paris 11-13 Juin 1974)*, Paris.
- Tavares de Miranda, M.
 1957 *Tbéorie de la vérité chez Édouard Le Roy*, Paris - Recife.
- Taylor, B.
 1715 *An account of an experiment made by Dr. Brook Taylor assisted by Mr. Hawkesbee, in order to discover the law of the magnetical attraction*, «Phil. Trans. R. Soc.», n. 344, pp. 294-5.
- Taylor, F. S.
 1952 *The teaching of science at Oxford in the nineteenth century*, «Ann. Sci.», VIII, pp. 82-112.
- Thackray, A. W.
 1968 *'Matter in a nut-shell': Newton's 'Opticks' and eighteenth-century chemistry*, «Ambix», XV, pp. 29-53.
 1970 *Atoms and powers: an essay on newtonian matter-theory and the development of chemistry*, London.
 1974 *Natural knowledge in cultural context: the Manchester model*, «Am. His. Rev.», LXXIX, pp. 672-709.
- Thibaudet, A.
 1923 *Le Bergsonisme*, 2 voll., Paris.
- Thiele, J.
 1978 *Wissenschaftliche Kommunikation - die Korrespondenz Ernst Machs*, Kastellaun.
- Thomsen, J.
 1853 *Die Grundzüge eines Thermochemischen Systems*, «Poggendorff's Annalen», LXXXVIII, pp. 349-62.

- Thomson, S. P.
1910 *Life of lord Kelvin*, 2 voll., London.
- Thomson, W.
1904 *Baltimore lectures on molecular dynamics and the wave theory of light* (1884, pubbl. 1904), London.
1971 *Opere di Kelvin*, trad. it. a cura di E. Bellone, Torino.
- Thomson, W. - Tait, P. G.
1867 *Treatise on natural philosophy*, I, Oxford.
- Thorndike, L.
1942 *Dubem's 'disciple of Bacon' identified with J. Peckham*, « *Isis* », XXXIV, p. 28.
- Todhunter, I.
1873 *A history of the mathematical theories of attraction and the figure of the earth from the time of Newton to that of Laplace*, rist. anast. New York 1962.
1876 *W. Whewell, master of Trinity College, Cambridge. An account of his writings with selections from his literary and scientific correspondence*, rist. anast. New York 1970.
- Tokaty, G. A.
1971 *A history and philosophy of fluidmechanics*, Henley-on-Thames.
- Torlais, J.
1937 *Un Rochelais grand-maître de la Franc-Maçonnerie et physicien au XVIII^e siècle: Le Reverend J.-T. Desaguliers*, La Rochelle.
1954 *Un physicien au siècle des lumières, l'abbé Nollet 1700-1770*, Paris.
- Torretti, R.
1978 *Philosophy of geometry from Riemann to Poincaré*, Dordrecht - Boston - London.
- Toulmin, S.
1953 *The philosophy of science*, London.
1967 *Conceptual revolutions in science*, « *Synthese* », XVII, pp. 75-91.
1972 *Human understanding*, I, Oxford.
1977 *From form to function: philosophy and history of science in the 1950s and now*, « *Daedalus* », I, pp. 143-62.
- Trenn, T. J.
1977 *The self-splitting atom: the history of the Rutherford-Soddy collaboration*, London.
- Tricker, R. A. R.
1966 *The contributions of Faraday & Maxwell to electrical science*, Oxford - London - Edinburgh.

Truesdell, C.

- 1954 *Rational fluid mechanics 1687-1765*, in Euleri, 1954.
1960 *The rational mechanics of flexible or elastic bodies 1638-1788*, in Euleri, 1960.
1960-62 *A program toward rediscovering the rational mechanics of the age of reason*, « Arch. Hist. Exact Sci. », I, pp. 1-36.
1968 *Essays in the history of mechanics*, Berlin.
1980 *The tragicomical history of thermodynamics, 1822-1854*, New York - Heidelberg - Berlin.

Tuana, N.

- 1978 *Discussion: Quinn on Duhem: an emendation*, « Phil. Sci. », XLV, pp. 456-62.

Turner, F. M.

- 1974 *Between science and religion: the reaction to scientific naturalism in late victorian England*, New Haven.
1978 *The victorian conflict between science and religion: a professional dimension*, « Isis », LXIX, pp. 356-76.

Turner, J.

- 1956 *Maxwell on the logical of dynamical explanation*, « Phil. Sci. », XXIII, pp. 36-47.

Turner, R. S.

- 1971 *The growth of professional research in Prussia, 1818 to 1848. Causes and context*, « Historical Stud. Phys. Sci. », III, pp. 137-82.
1977 a *H. von Helmholtz and the empiricist vision*, « J. Hist. Behav. Sci. », XIII, pp. 48-58.
1977 b *The Ohm-Seebeck dispute, H. von Helmholtz, and the origins of physiological acoustics*, « Br. J. Hist. Sci. », X, pp. 1-24.

Uta, M.

- 1928 *La crise de la théorie du savoir*, Paris.

Valson

- 1868 *La vie et les travaux du Baron Cauchy*, Paris.

Van Riet, G.

- 1950 *L'épistémologie thomiste. Recherches sur le problème de la connaissance dans l'école thomiste contemporaine*, Louvain - Paris.
1960 *Problèmes d'épistémologie*, Louvain - Paris.

Van der Waerden, B. L. (a cura di)

- 1967 *Sources of quantum mechanics*, Amsterdam.

- Van Melsen, A.
1960 *From atomos to atom. The history of the concept atom*, New York.
- Van Musschenbroek, P.
1744 *Oratio de sapientia*, Lugduni Batavorum.
- Van't Hoff, J. H.
1884 *Études de dynamique chimique*, Amsterdam.
- Vartanian, A.
1956 *Diderot e Descartes*, trad. it., Milano.
- Vasco, G. M.
1978 *Diderot and Goethe: a study in science and humanism*, Paris - Geneva.
- Verdet, E.
1868 *Théorie mécanique de la chaleur*, 2 voll., Paris.
1872 *Conférences de physique faites à l'École Normale*, 2 voll., Paris.
- Verneaux, R.
1967 *Epistemologia generale. Critica della conoscenza*, Brescia.
- Vicaire, E.
1893 *De la valeur objective des hypothèse physiques*, « Annls. Phil. Chrèt. », CXXVI, pp. 50-80, 113-138.
- Vidler, A. R.
1970 *A variety of catholic modernists*, Cambridge.
- Vinti, C. (a cura di)
1977 *L'epistemologia francese contemporanea per un razionalismo aperto*, Roma.
- Violle, J.
1883-92 *Cours de physique*, 4 voll., Paris.
- Virtanen, R.
1965 *Marcelin Berthelot. A study of a scientist's public role*, « University of Nebraska Studies », nuova ser., n. 31 (aprile 1965).
- Voisé, W.
1973 *La découverte copernicienne aux yeux d'H. Poincaré*, « Revue Synth. », XCIV, pp. 125-34.
- Volkman, P.
1886 *Erkenntnistheoretische Grundzüge der Naturwissenschaft*, Leipzig.
- Von Gizycki, R.
1973 *Centre and periphery in the international scientific community: Germany, France and Great Britain in the 19th century*, « Minerva », XI, pp. 474-94.

- Vuillemin, J.
1972 *Poincaré's philosophy of space*, « Synthèse », XXIV, pp. 161-79.
- Waff, C. B.
1975 *Alexis Clairaut and his proposed modification of Newton's inverse square law of gravitation*, in *Avant, avec, après Copernic*, Paris.
- Walckenaer, P.
1940 *La vie de Prony*, « Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale », CXXXIX, pp. 68-98.
- Wartofski, M. W.
1976 *The relation between philosophy of science and history of science*, « Boston Stud. Phil. Sci. », XXX, pp. 213-31.
- Weber, L.
1903 *Vers le positivisme absolu par l'idéalisme*, Paris.
1932 *Une philosophie de l'invention. M. Edouard Le Roy*, « Revue Métaphys. Morale », XXXIX, pp. 59-86.
- Wedeking, G.
1969 *Duhem, Quine and Grünbaum on falsification*, « Phil. Sci. », XXXVI, pp. 375-80.
- Weinberg, B.
1937 *French realism. The critical reaction*, New York.
- Wells, G. A.
1978 *Goethe and the development of science, 1750-1900*, Alphen aan den Rijn.
- Westfall, R. S.
1975 *I. Newtons 'Index chemicus'*, « Ambix », XXII, pp. 174-85.
- Wheeler, L. P.
1951 *Josiah Willard Gibbs*, New Haven.
- Whittaker, E. T.
1951 *A history of the theories of aether and electricity*, 2 voll., London.
- Whyte, L. L.
1961 *Essay on atomism: from Democritus to 1960*, Middleton.
- Wiener, P. P.
1973 *Pragmatism*, in *Dictionary of the History of Ideas*, III, pp. 551-70, New York.
- Wilbois, J.
1899-1900 *La méthode des sciences physiques*, « Revue Métaphys. Morale », VII (1899), pp. 579-615; VIII (1900), pp. 291-322.

- 1901 *L'esprit positif*, « Revue Métaphys. Morale », IX, pp. 154-209, 579-645.
- 1907 *La pensée catholique en France au commencement du XX^e siècle*, « Revue Métaphys. Morale », XV, pp. 377-400, 526-558.
- Williams, L. P.
- 1953 *Science, education and the French Revolution*, « Isis », XLIV, pp. 311-30.
- 1956 *Science, education and Napoleon I*, « Isis », XLVII, pp. 369-82.
- 1959 *The politics of science in the French Revolution*, in Clagett, 1959.
- 1962 *The physical sciences in the first half of the nineteenth century: problems and sources*, « Hist. Sci. », I, pp. 1-15.
- 1962-63 *Ampère's electrodynamic molecular model*, « Contemporary Physics », IV, pp. 113-23.
- 1965 *Michael Faraday. A biography*, New York.
- Wilson, C. A.
- 1980-31 *Perturbations and solar tables from Lacaille to Delambre: the rapprochement of observation and theory*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XXII (1980), pp. 53-188; XXIII (1981), pp. 189-304.
- Wilson, D. B.
- 1971 *The thought of the late victorian physicists: O. Lodge's ethereal body*, « Victorian Stud. », XV, pp. 29-48.
- 1972 *G. G. Stokes on stellar aberration and the luminiferous ether*, « Br. J. Hist. Sci. », VI, pp. 57-72.
- 1974 a *Kelvin's scientific realism: the theological context*, « Philos. J. », XI, pp. 41-60.
- 1974 b *Herschel and Whewell's version of newtonianism*, « J. Hist. Ideas », XXXV, pp. 79-97.
- 1977 *Victorian science and religion*, « Hist. Sci. », XV, pp. 52-67.
- Winter, M.
- 1894 *À propos d'une nouvelle conception de la philosophie des sciences*, « Revue Métaphys. Morale », II, pp. 606-21.
- Wise, M. N.
- 1979 *W. Thomson's mathematical route to energy conservation: a case study of the role of mathematics in concept formation*, « Historical Stud. Phys. Sci. », X, pp. 49-83.
- 1981 *The flow analogy to electricity and magnetism. Part I: W. Thomson's reformulation of action at distance*, « Arch. Hist. Exact Sci. », XXV, pp. 19-70.
- Wittgenstein, L.
- 1974 *Tractatus logico-philosophicus*, trad. it., Torino.

Wohlwill, E.

- 1883-84 *Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes*, estratto da « Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft », voll. XIV e XV.

Woodruff, A. E.

- 1962 *Action at a distance in nineteenth century electrodynamics*, « Isis », LIII, pp. 439-59.
1968 *The contributions of H. von Helmholtz to electrodynamics*, « Isis », LIX, pp. 300-11.

Wurtz, A.

- 1864 *Leçons de philosophie chimique*, Paris.
1864-66 *Cours de philosophie chimique fait au Collège de France*, Paris.
1868 *Histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours*, Paris.

Yeo, R.

- 1979 *W. Whewell, natural theology and the philosophy of science in mid-19th-century Britain*, « Ann. Sci. », XXXVI, pp. 493-516.

Yuasa, M.

- 1962 *Center of scientific activity: its shift from the 16th to the 20th century*, « Jap. Stud. Hist. Sci. », I, pp. 57-75.

Zahar, E.

- 1977 *Mach, Einstein, and the rise of modern science*, « Br. J. Phil. Sci. », XXVIII, pp. 195-213.

Stampato presso la Tipografia
Edit. Gualandi S.n.c. di Vicenza