

Giovanni Boniolo, Maria Luisa Dalla Chiara,
Giulio Giorello, Corrado Sinigaglia, Silvano Tagliagambe

Filosofia della scienza

a cura di
Corrado Sinigaglia



Raffaello Cortina Editore

Indice

www.raffaellocorina.it

Introduzione	1
--------------------	---

John Frederick William Herschel

<i>La ricerca delle cause: induzione e deduzione</i>	19
--	----

John Stuart Mill

<i>Uniformità di natura e licenza d'errore</i>	31
--	----

William Whewell

<i>Scoperta scientifica e concordanza delle induzioni</i>	45
---	----

Charles Robert Darwin

<i>Tra esperienza e immaginazione: la teoria dell'evoluzione</i>	57
--	----

Dmitrij Ivanovič Mendeleev

<i>Fatti nuovi e controllo empirico: elementi (chimici) e spiriti (disincarnati)</i>	63
--	----

Heinrich Rudolf Hertz

<i>La sottodeterminazione delle teorie rispetto all'esperienza</i>	69
--	----

Charles Sanders Peirce

<i>Fallibilismo e spirito della scienza</i>	75
---	----

Ernst Mach

<i>Errore, critica ed evoluzione della conoscenza</i>	85
---	----

Jules-Henri Poincaré

<i>La natura convenzionale dei principi</i>	99
---	----

Pierre Duhem

<i>Critica dell'esperimento (cruciale) e controllo delle teorie</i>	113
---	-----

Coperlina
Studio CRcE

ISBN 978-88-7078-758-0
© 2002 Raffaello Cortina Editore
Milano, via Rossini 4

Prima edizione: 2002

Federigo Enriques	
<i>Fatti e ipotesi nella costruzione delle teorie</i>	125
Ernst Cassirer	
<i>Il segreto dell'induzione</i>	137
Albert Einstein	
<i>Come cambia la fisica: teoria ed esperienza</i>	147
Niels Bohr	
<i>Natura e culture</i>	161
Werner Heisenberg	
<i>Lo sfondo filosofico della ricerca</i>	175
Bertrand Russell	
<i>Principio di induzione e conoscenza probabile</i>	189
Hans Hahn, Otto Neurath, Rudolf Carnap	
<i>La concezione scientifica del mondo</i>	199
Moritz Schlick	
<i>Empirismo e verificazione</i>	207
Rudolf Carnap	
<i>La logica della scienza</i>	217
Otto Neurath	
<i>Enunciati protocolari, controlli empirici ed enciclopedie</i>	231
Karl Raimund Popper	
<i>Falsificazione e approfondimento</i>	245
Ludovico Geymonat	
<i>La concezione empiristica della causalità</i>	259
Willard Van Orman Quine	
<i>Olismo ed empirismo illuminato</i>	269
Carl Gustav Hempel	
<i>Causalità e spiegazione: dalla natura alla storia</i>	279
Thomas Samuel Kuhn	
<i>La funzione del dogma</i>	291

Imre Lakatos	
<i>La metodologia dei programmi di ricerca scientifici</i>	303
Paul Karl Feyerabend	
<i>Incommensurabilità e anarchismo metodologico</i>	317
Lecture consigliate	329
Indice analitico	337

Handwritten notes in the right margin:

- Top: *La concezione scientifica del mondo* (199)
- Middle: *La logica della scienza* (217)
- Bottom: *La concezione empiristica della causalità* (259)

Introduzione

1. “Credo esista, e lo sento dentro di me, un istinto della verità, [...] qualcosa che ha la stessa natura dell'istinto della virtù.”¹ Così Charles Robert Darwin in una lettera dell'aprile 1848 a John Steven Henslow, che l'aveva rimproverato di spendere troppo tempo in “inutili” ricerche sui cirripedi e di non prestare la dovuta attenzione alle applicazioni delle invenzioni scientifiche, come quelle legate, per esempio, alla scoperta del cloroformio. Nella risposta di Darwin cogliamo due grandi assi entro cui potremmo disporre la disciplina che è abitualmente chiamata *filosofia della scienza*.² Il primo è quello dell'istinto della verità, che per la riflessione filosofica sulla scienza si traduce nell'indagine sulla portata conoscitiva delle *teorie* scientifiche e sull'affidabilità delle procedure relative al loro *controllo intersoggettivo*. Il secondo, l'istinto della virtù, contempla tutte quelle analisi che connettono la conoscenza scientifica alla sfera dei valori. Da una parte vi sono gli ambiti della logica, della metodologia, della teoria della conoscenza e dell'ontologia;³ dall'altra quelli dell'etica e della politica della scienza.⁴ Benché sia possibile tracciare a grandi linee i contorni di tale paesaggio, non è però sempre agevole mantenere una rigida classificazione una volta che si sia penetrati nella sua “struttura fine”. È vero che “in logica non ci sono morali” (vedi p. 218) o, più in generale, che occorre distinguere tra il “fatto” e il “valore”.⁵ Pur tuttavia, la definizione scientifica di cosa sia un “fatto” è già di per sé un valore,⁶ e proprio una parte rilevante della filosofia della scienza del Novecento ha sottolineato come le norme metodologiche debbano essere intese nei termini di un “codice d'onore” per l'uomo di scienza.⁷

I testi raccolti in *questo volume* insistono maggiormente sulla

portata conoscitiva dell'impresa scientifica, anche se non dimenticano l'altro aspetto. In essi si fa questione della natura della scienza, della sua struttura e della sua dinamica, nonché dei problemi filosofici che la *crescita* della conoscenza solleva. Non diversamente dal mito, dalla religione o dalla filosofia in generale, la scienza sembra ricercare un ordine sottostante all'apparente disordine dei fenomeni;⁸ ma l'impresa scientifica è sostenuta da una comunità di persone che perseguono tale ricerca mediante osservazioni, esperimenti e (quando possibile) misure⁹ – ossia mediante quel complesso di procedure che sovente viene etichettato come “metodo sperimentale” e la cui analisi mette in luce il ruolo sempre maggiore svolto dalla tecnica.¹⁰ L’“esperienza” appare così integrata da quella componente di pensiero e di linguaggio che ai tempi suoi Galileo Galilei riassumeva nell'unico termine “discorso”.¹¹

È nostra convinzione che la stessa filosofia della scienza perda di senso se non viene rapportata alla *pratica* scientifica. Come ebbe a scrivere Albert Einstein, l'epistemologia senza la scienza diventa “schema vuoto”; d'altro canto, la seconda senza la prima rischia di rimanere “primitiva e informe”.¹² Inoltre, non pochi degli autori considerati in *questo volume* hanno a più riprese enfatizzato il ruolo epistemologico della storia della scienza; ciò vale non solo per pensatori che programmaticamente hanno coniugato insieme storia e filosofia della scienza, come per esempio William Whewell, Ernst Mach, Pierre Duhem, Federico Enriques, Thomas S. Kuhn o Imre Lakatos, ma anche per figure che una certa vulgata presenta come dichiaratamente antistoriche – si pensi a Moritz Schlick, a Otto Neurath o allo stesso Rudolf Carnap. Numerosi sono i casi storici più volte ricorrenti nelle pagine di *questo volume*: dai modelli planetari rivali (da Tolomeo a Copernico)¹³ alle cosiddette tre leggi di Keplero,¹⁴ dalle osservazioni eseguite da Galileo con il suo “occhiale”¹⁵ alla “sintesi” newtoniana della gravitazione universale,¹⁶ dall'ampliamento del Sistema solare con la scoperta di Urano e di pianeti “perturbatori” come Nettuno e Plutone¹⁷ alla creazione di geometrie diverse da quella di Euclide,¹⁸ dall'emergenza di una concezione evuzionistica del vivente (vedi pp. 57-62) alla determinazione della legge periodica degli elementi chimici (vedi pp. 63-68), dall'elaborazione della teoria dei quanti da parte di Planck e di Einstein (vedi pp. 147, 158, 162) alla relatività ristretta e generale (vedi pp. 147-160),¹⁹ fino alla formulazione di una vera

e propria meccanica quantistica e agli sviluppi della teoria delle particelle elementari (vedi pp. 185-187) ecc. Ovviamente, non pensiamo di aver reso giustizia alla complessità del panorama delle varie discipline scientifiche,²⁰ ma è pur vero che da questi casi il lettore potrà trarre il gusto di quella che Herschel e Whewell chiamavano “scoperta scientifica” – tanto più che alcuni di questi episodi sono narrati dagli stessi protagonisti (si vedano, per esempio, le osservazioni di Darwin sull'evoluzione, quelle di Mendeleev per la chimica, quelle di Poincaré sulle geometrie non euclidee, per non dire dei resoconti degli sviluppi della fisica del Novecento dati qui nella versione di Einstein e di Heisenberg).

2. “La guida un giorno disse improvvisamente [al viaggiatore] di fermarsi e, indicando con un dito verso l'alto del cielo, gridò ‘Un leone!’. Sorpreso da una simile esclamazione accompagnata da un simile gesto, [il viaggiatore] alzò gli occhi verso l'alto e poté, a malapena, vedere a grandissima altezza un volo di avvoltoi che si libravano in cerchio attorno a un punto particolare. Sotto quel punto, oltre la portata della sua vista e di quella della guida, giaceva la carcassa di un cavallo e, su quella carcassa, si trovava – come la guida ben sapeva – il leone, al quale gli avvoltoi guardavano con invidia dall'alto. Il segnale degli uccelli costituiva per lui ciò che solo la vista del leone avrebbe potuto costituire per il viaggiatore, e cioè la piena prova della sua esistenza.”²¹ In questo modo icastico Herschel indicava come la capacità di sostituire agli indizi forniti dai nostri sensi una concatenazione che renda intelligibile un fenomeno o un comportamento fosse uno dei tratti distintivi di quella che noi oggi chiamiamo “spiegazione scientifica”.²² Da parte sua Mach doveva insegnare che il bisogno di una spiegazione sorge là dove si è in presenza di situazioni che destano meraviglia, e che lo scopo della ricerca è sì di rendere comprensibile una configurazione, ma anche di trarne vantaggio a livello di predizioni ben riuscite, talvolta *anticipando* il corso della natura.²³ Whewell, uomo di scienza oltre che filosofo, voleva riscrivere il *Novum Organum* di Francesco Bacone, a sua volta concetto come una riscrittura fortemente innovativa dell'*Organon* di Aristotele! L'individuazione di regolarità naturali o addirittura di vere e proprie “leggi” era al centro dell'investigazione di John Stuart Mill. L'affidabilità di teorie che garantiscono la predizione di fatti nuovi e

inaspertati è il punto su cui egli romperà con Whewell. Ciò spiega la scelta di prendere le mosse da un riesame di quell'inferenza che Bacone poneva alla base della nostra conoscenza del mondo, l'*inferenza induttiva*, e come la complessa questione dell'intreccio tra affidabilità dell'induzione e arte della congettura esplicativa ricorra in numerosi contributi successivi, si pensi per esempio a Charles Sanders Peirce (vedi pp. 75-77) e a Ernst Cassirer (vedi pp. 137-146). Slittata dal "contesto della scoperta" a quello della "giustificazione", l'induzione riemerge nella scuola di Cambridge e nello stesso empirismo logico, salvo poi essere drasticamente condannata da Karl Popper che ritiene di averla liquidata – anche se sarà proprio un "falsificazionista sofisticato" come Imre Lakatos a rivalutare il ruolo della verificazione in più di un caso critico e a riaprire, pur contro voglia, la questione di quel "refolo di induttivismo" che sembra ineliminabile dall'impresa scientifica se vuole restare sapere intersoggettivo, cioè pubblico e controllabile. Tali questioni si inseriscono nel quadro più ampio del *rapporto tra teoria ed esperienza* – vero nucleo della riflessione matura sulla scienza: si pensi all'esempio di Herschel (qui a p. 19) e all'idea di Whewell per cui una maschera di teoria ricoprirebbe il volto della natura, oppure al bagaglio teorico che secondo Duhem condiziona necessariamente l'osservazione e l'esperimento²⁵ e alla difficoltà di fissare una base empirica sicura (come emerge dalla polemica sui protocolli tra Schlick, Carnap e Neurath; vedi pp. 232-233), nonché alla progressiva liberalizzazione dell'empirismo (e-semplare è il caso di Carl Gustav Hempel; vedi pp. 279-282) e alla stessa concezione olistica di Willard Van Orman Quine (vedi pp. 269-272).²⁶

Il rapporto tra teoria ed esperienza costituisce anche la chiave di volta per comprendere l'esigenza, che già fu almeno di David Hume e di Immanuel Kant, di tracciare una linea di *demarcazione* tra ciò che è scienza e ciò che scienza non è.²⁷ Il lettore troverà nel *presente volume* tanto la proposta di certi empiristi logici di un criterio di separazione tra enunciati "cognitivamente" significanti e non significanti quanto il requisito della falsificabilità avanzato dal "razionalismo critico" – tenendo conto che di tutta la complessa vicenda del rapporto tra Popper e gli esponenti del Circolo di Vienna²⁸ si è qui privilegiata la polemica aperta da Neurath che all'ideale popperiano delle teorie falsificabili oppone quello delle

enciclopedie continuamente ridefinibili, un punto questo che anticipa singolarmente tesi ancor più radicali di autori per altri versi così differenti come Quine e Feyerabend.²⁹ Peraltro, quella che un tempo era "metafisica" può diventare nelle mani di innovatori più o meno radicali il motore di un'attività scientifica sempre più diffusa;³⁰ ciò può capitare nel caso di una qualche *rivoluzione scientifica* ove la sostituzione di una pratica di ricerca con un'altra comporta talora lo slittamento da una metafisica data a una metafisica rivale.³¹ Sarà importante osservare che la prospettiva della "disparità concettuale", se non addirittura dell'"incommensurabilità", tra un quadro interpretativo e un altro sembra scontrarsi con le posizioni *continuistiche* che, pur ammettendo il cambiamento, insistono sulla persistenza di alcuni elementi di fondo che soli garantirebbero un vero e proprio "progresso". Tale era, per esempio, la posizione di Enriques che verrà ripresa, tra gli altri, da Ludovico Geymonat. Né andrà dimenticato che prima ancora del dibattito degli anni Sessanta e Settanta del Novecento sull'incommensurabilità tale questione era già emersa nella polemica che aveva visto contrariarsi il convenzionalismo "moderato" di Poincaré con quello "radicale" di Edouard Le Roy (vedi p. 101). Questa polemica è anche spia delle difficoltà insite nella stessa nozione di "convenzione", che sembra costituire al contempo una componente ineliminabile dell'impresa scientifica (nonché di altre imprese umane) ma anche una base tutt'altro che definita per una concezione convenzionalistica dei modi della ragione.³²

3. Ci rendiamo conto che finora abbiamo usato il termine "scienza" in maniera piuttosto comprensiva. In realtà, dovremmo distinguere tra discipline più propriamente formali e discipline empiriche – anche se questa distinzione va sfumata ed è da alcuni radicalmente contestata. Inoltre, sappiamo bene che nelle stesse scienze empiriche non c'è unità realizzata: che cosa accomuna la fisica con la botanica? Eppure, anche di fronte alla progressiva specializzazione disciplinare, talvolta paragonata alla speciazione in biologia,³³ resta euristicamente potente quell'appello all'*unità della scienza* che era centrale per il Circolo di Vienna (vedi pp. 203-206), ma che si ritrova anche in autori non racciabili di positivismo (stretto) come Quine e Lakatos, per non dire della fecondità delle idee di Hempel (ma anche di Peirce!) sulla natura della

ricerca storica. Non c'è dubbio che la crescente specializzazione dell'impresa scientifica abbia portato a formulare vere e proprie filosofie particolari: filosofia della matematica, filosofia della fisica, filosofia della biologia, filosofia dell'economia, filosofia delle scienze sociali ecc.³⁴ Inoltre, sono emerse famiglie di problemi che hanno assunto nella filosofia della scienza il carattere di sottodiscipline, dotate anch'esse di una certa consistenza e autonomia. È il caso, per esempio, delle differenti concezioni della probabilità, della "filosofia dello spazio e del tempo", per riprendere una felice locuzione di Hans Reichenbach,³⁵ del problema mente-corpo, del rapporto tra metodo scientifico e Intelligenza Artificiale, della teoria delle decisioni razionali, con le sue implicazioni etico-politiche ecc. Lo stesso vale per la filosofia della matematica, un tempo legata quasi esclusivamente al problema dei fondamenti, o per la logica con le sue molteplici ramificazioni. Si tratta di una costellazione d'argomenti che non può certo essere esaurita in queste pagine, e il nostro auspicio è che *Bibliotheca* si arricchisca di nuovi volumi dedicati esplicitamente a questi settori.

In ogni caso, ci preme segnalare un problema che attraversa molti degli ambiti qui indicati e che usualmente va sotto il nome di *riduzionismo*. Lo troviamo nelle pagine di Carnap (è possibile ricondurre al livello delle nostre conoscenze fisiche o al linguaggio della fisica le conoscenze o il linguaggio della biologia? E a questa è possibile ricondurre le conoscenze o il linguaggio della psicologia? ecc.) o nelle considerazioni di Bohr che investono la stessa evoluzione culturale affiancata a quella più strettamente biologica. Ci sembra ormai ineludibile la distinzione tra un riduzionismo inteso come progetto ideologico globale e un riduzionismo concepito come un "metodo" o, meglio, un "programma" di *spiegazioni per riduzione* che appaiano riuscite, almeno localmente.³⁶ Inoltre, se tale tipo di spiegazioni rappresenta "una componente essenziale dell'impresa scientifica, e non solo della fisica", sarà comunque buona norma "eseguire là dove risulta possibile – e spesso ciò avviene in modo creativo e stimolante – la riduzione, ma insieme rimettere continuamente in discussione tutti quegli apparati, strumenti, strutture teoriche ecc. che hanno consentito le varie riduzioni riuscite".³⁷

Infine, è nostra speranza dare al lettore l'idea della complessità di una ricerca che se da un lato ci porta a considerare livelli di

astrazione sempre più alti entro la conoscenza, dall'altro risulta non troppo lontana dal mondo delle passioni, come testimoniano le vicende di quasi tutti gli autori qui riportati. In una celebre conferenza (1972) ripresa nel suo *Il realismo scientifico e l'autorità della scienza* (1977) Paul Feyerabend ha definito la filosofia della scienza "una forma di pazzia ancora inesplorata".³⁸ A pochi decenni di distanza ci pare tuttavia che, come nel caso di Amleto, vi sia un po' di metodo in tale follia, e le pagine che seguono sono un invito a esplorarla.

Desideriamo ringraziare per consigli e suggerimenti Claudio Bartocci, Enrico Bellone, Edoardo Boncinelli, Umberto Bottazzini, Ricardo Broglio, Pietro Corsi, Giorgio Cosmacini, Marcello D'Agostino, Giovanni Federspil, Federico Laudisa, Lorenzo Maggiani, Roberto Maiocchi, Mario Quaranta, Marco Santambrogio e Elio Sindoni. Infine la nostra gratitudine va a Pietro Adamo, Stefano Garrei e Stefano Moriggi.

Giovanni Boniolo, Maria Luisa Dalla Chiara,
Giulio Giorello, Corrado Sinigaglia, Silvano Tagliagambe

NOTE

1. C.R. Darwin, *Lettere 1825-1859*, a cura di F. Burthardt, prefazione di S.J. Gould, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1999, p. 136.

2. Talora, specie nel contesto italiano, viene usato come sinonimo di *filosofia della scienza* il termine *epistemologia* (anche se questa identificazione potrebbe venire contestata da chi guarda ad altre tradizioni; vedi in particolare quanto osservato nella nota 3). Noi ci uniformeremo nella pagine che seguono a questo uso. Va comunque ricordato che *epistemologia* viene dal greco *episteme* e *logos*, e letteralmente significa discorso intorno alla scienza. "Alle origini del pensiero filosofico e scientifico un problema, in particolare, attirava l'attenzione dei ricercatori antichi: quello della distinzione tra le varie articolazioni del sapere, in modo specifico della separazione tra il sapere volgare e comune (*doxa*), dotato di garanzie molto limitate, e il sapere scientifico (*episteme*) cui va invece riconosciuto un fondamento decisamente superiore" (S. Tagliagambe, *L'epistemologia contemporanea*, Editori Riuniti, Roma 1991, p. 3). Del resto, tale distinzione è al centro del *Fedro* (268A-271C) di Platone, e proprio per non perdersi nella *doxa* e raggiungere l'*episteme* occorre *metodos*, ossia una via, una condotta che consenta di ragionare sulla natura delle cose. In tempi in cui si è meno sicuri di pervenire a un qualche "fondamento", il termine *epistemologia* denota l'indagine critica circa la natura, i limiti e le condizioni di validità della conoscenza, tanto nelle scienze considerate formali (logica e matematica) quanto nelle scienze cosiddette empiriche (scienze umane incluse). Da questa accezione generale va distinta una disciplina che rientra più propriamente nell'ambito della psicologia,

la cosiddetta "epistemologia genetica", creata da Jean Piaget e intesa a ricostruire i processi cognitivi dello *Homo sapiens*, con particolare attenzione alle fasi del loro sviluppo nell'individuo dall'infanzia alla maturità (vedi, per esempio, G. Bocchi e M. Ceruti, *Disordine e costruzione: un'interpretazione epistemologica dell'opera di Jean Piaget*, Feltrinelli, Milano 1981). Nell'attuale orizzonte di ricerca questi interessi si possono rientrare nella costellazione delle *scienze cognitive* che vanno dai tradizionali approcci della neurofisiologia o della psicologia al programma dell'Intelligenza Artificiale (IA). Un progetto particolarmente ambizioso è quello di ricondurre l'intera filosofia della scienza, in particolare la "teoria della conoscenza", a tali discipline cognitive, programma noto nella cultura di lingua inglese come "epistemologia naturalizzata" (vedi nota 3, e p. 272).

3. *Logica* (dal greco *logos*, "pensiero", ma anche "espressione" o "discorso") indica qui la teoria dell'interenza "valida", ossia la teoria delle condizioni in base alle quali un ragionamento risulta corretto, qualunque sia l'universo del discorso cui esso inerisce. Si deve oggi dare per scontato che esistono differenti concezioni di tali condizioni, il che ha dato origine a una pluralità di logiche (vedi, per esempio, M.L. Dalla Chiara, *Logica*, Mondadori, Milano 1980; G. Boniolo e P. Vidali, *Strumenti per ragionare*, Bruno Mondadori, Milano 2002). Inoltre, benché l'uso abituale restringa il termine *logica* a una teoria dell'interenza *deduttiva*, è indubbio che nei due secoli presi in considerazione in *questo volume* vi siano state accezioni più ampie, dalla *Logica* di Mill a quella di Popper, per non dire della mai scritta "cangianza logica della scoperta matematica" vagheggiata per anni da Lakatos. Per *metodologia* si intende la teoria del metodo, cioè quell'elusivo insieme di "regole" che dovrebbero condurre alla "verità" o almeno al controllo intersoggettivo delle nostre pretese di averla raggiunta (per un'elegante presentazione della questione vedi G.G. Granger, "Metodo", in *Enciclopedia*, vol. IX, Einaudi, Torino 1980, pp. 237-253). Quanto alla *teoria della conoscenza*, essa riguarda, sul filone della tradizione di lingua tedesca, e in particolare di quella neokantiana, i contenuti cognitivi dell'impreparata scientifica e la stessa formazione di tali contenuti da parte del soggetto conoscente. Nell'ambito anglosassone questo settore è definito sovente con il nome di *epistemology* (ma vedi la precedente nota 2; alla luce di quanto si è detto, lo stesso progetto quineano sarebbe più propriamente, almeno nel lessico qui adottato, una "naturalizzazione della teoria della conoscenza"). Infine, *ontologia* è di questi termini forse quello più controverso. Introdotto nel XVII secolo per indicare la scienza dell'essere in quanto tale e impostosi soprattutto sull'onda del successo dell'*Ontologia* (1729) di Christian Wolff, esso denotò anzitutto una "metafisica generale", preliminare alle tre metafisiche "speciali", ossia la "psicologia razionale" (lo studio dell'anima come sostanza), la "cosmologia razionale" (l'indagine del mondo come un tutto) e la "teologia razionale" (prove a favore dell'esistenza di Dio ecc.). Il rasoio di Kant farà giustizia di queste "metafisiche", riformulando le tematiche dell'ontologia nei termini dell'"analisi trascendentale" (cioè della prima parte della "Logica trascendentale", entro la *Critica della ragion pura*). Nel Novecento di ontologia ha trattato, come è noto, la corrente fenomenologica: bastino i nomi di Edmund Husserl e di Martin Heidegger. Critico di queste tendenze, che giudica "metafisiche", il positivismo logico ha orientato la filosofia della scienza a prospettare l'ontologia come lo studio specifico di questioni di esistenza nel contesto di teorie assiomatiche formali (vedi anche la nota 33) – un aspetto questo che si è sempre più sofisticato man mano che l'empirismo si veniva liberalizzando (vedi la celebre battuta di Quine: essere è essere il valore di una variabile vincolata).

4. In quest'ambito rientra quell'insieme di questioni etiche concernenti la riproduzione, la nascita, la sofferenza, la salute, l'allocazione delle risorse e la morte solle-

vare negli ultimi decenni dagli sviluppi della biologia e della medicina, e abitualmente ricondotte sotto il nome di *bioetica* – un nome che, come scrive Tristram Engelhardt, è "da usare al plurale", poiché solo così è possibile schiudere quella dimensione morale che, liberata da ogni pretesa sostanziale che la vincola a valori particolari, "può essere giustificata come pratica della collaborazione intersoggettiva fondata sull'autorità del permesso", ossia sull'autorità delle singole persone, sulla loro libertà a partecipare indipendentemente dalle diverse "razionalità religiose o morali" (H.T. Engelhardt Jr, *Manuale di bioetica*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1999, pp. 35, 16). In questa prospettiva si colloca anche il dibattito sempre più ampio circa la natura del soggetto etico e persino politico. Per dirla in breve, non si discute unicamente dei diritti degli individui, dei corpi, dei feti e degli embrioni, ma anche di quelli degli animali o dei vegetali, per non dire di quelli dei computer (pensati come "macchine razionali"), sulla soglia di una ridefinizione della dicotomia naturale/artificiale. Si vedano a questo proposito, per esempio, le polemiche tesi esposte da B. Latour in *Politiche della natura. Per una democrazia della scienza* (tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2000).

5. R. Nozick, *Spiegazioni filosofiche*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1987, pp. 590-608. 6. Come scrive Hilary Putnam, "qualunque scelta di uno schema concettuale presuppone valori. [...] Non si può scegliere uno schema che non fa altro che 'copiare' i fatti, perché nessuno schema concettuale è una mera 'copia del mondo'. La nozione stessa di verità dipende per il suo contenuto dai nostri criteri di accettabilità razionale, e questi a loro volta presuppongono i nostri valori e poggiano su di essi" (H. Putnam, *Ragione, verità e storia*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1989, p. 23.1).

7. Per un'interpretazione di tale "codice d'onore" nella forma "prudente" di un "prescrittismo metodologico" capace di far propria la lezione della *phronesis* (retitudine della deliberazione) aristotelica, prestando la dovuta attenzione ai differenti contesti storico-culturali in cui prendono corpo le teorie scientifiche, ci sia consentito il rimando a G. Boniolo, *Metodo e rappresentazioni del mondo*, Bruno Mondadori, Milano 1999, pp. 17-60, in particolare pp. 44-53. Sulla nozione aristotelica di *phronesis* e sulla sua ripresa nel quadro delle discussioni epistemologiche attuali, nonché nell'ambito della teoria delle decisioni razionali vedi, per esempio, S. Morini, "Teoria/pratica", in *Enciclopedia*, vol. XIV, Einaudi, Torino 1981, pp. 167-198.

8. Per dirla con il matematico francese René Thom, che a sua volta riprende una battuta del fisico francese Jean-Baptiste Perrin, si tratta di "sostituire al visibile complicato un invisibile semplice". Per Thom quella scientifica sarebbe dunque un'attività "ermenutica", volta a scoprire una trama "intelligibile" che sostiene la varietà della fenomenologia osservativa. Quando tale impresa riesce, sembra possibile, almeno localmente, far della teoria uno strumento per predizioni; viceversa, una teoria con alto potere predittivo non è necessariamente soddisfacente dal punto di vista esplicativo, come fu a lungo il caso, per esempio, della stessa teoria newtoniana che, pur passando di successo in successo a livello predittivo, conteneva un nucleo alquanto elusivo sotto il profilo dell'intelligibilità (la trattazione della gravitazione universale come azione istantanea a distanza). Vedi R. Thom, *Parabole e catastrofi*, intervista a cura di G. Giorcello e S. Morini, il Saggiatore, Milano 1980, p. 76, ma anche pp. 7-9. Inoltre, vedi R. Thom, *Prédire n'est pas expliquer*, Eschel, Paris 1991. Infine, vedi J. Petitot, "Locale globale", in *Enciclopedia*, vol. VII, Einaudi, Torino 1979, pp. 429-490.

9. Su osservazione, esperimento e misura sia lecito il rimando a G. Boniolo e P. Vidali, *Filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano 1999, pp. 315-345, 601-609, M.L. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *Introduzione alla filosofia della scienza*, Laterza, Roma-Bari 1999, pp. 3-19.

10. Non è un caso che Ludovico Geymonat abbia proposto una considerazione *olistica* della scienza e della tecnica introducendo la nozione di "patrimonio tecnico-

scientifico" (vedi *questo volume*, p. 260). Si tratta di una delicata questione epistemologica legata all'impiego di un qualche strumento in grado di potenziare le nostre capacità osservative. "Perché mai un occhio umano dovrebbe fornire una garanzia di intersoggettività maggiore di quella assicurata da un apparecchio ben progettato e collaudato? Dove si mette il confine tra *osservare a occhio nudo* e *osservare mediante uno strumento*? Forse il miopo che osserva con gli occhiali dovrà essere meno attendibile dell'osservatore emmetrope, per il fatto che la costruzione dei suoi occhiali ha richiesto una certa teoria? E se concediamo gli occhiali, perché non concedere un telescopio, un computer o un calcolo a mano?" (M.L. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *Introduzione alla filosofia della scienza*, cit., p. 18). Vedi, infine, I. Hacking, *Conoscere e sperimentare*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1987, pp. 177-236.

11. Sia lecito il rimando alle osservazioni di S. Tagliagambe, *L'epistemologia contemporanea*, cit., in particolare pp. 9-10, 94-96, ove peraltro è discussa l'immagine di Galileo "ricostruita" da Paul K. Feyerabend in *Contro il metodo* (tr. it. Feltrinelli, Milano 1979, pp. 101-118).

12. A. Einstein, *Autobiografia scientifica*, tr. it. Boringhieri, Torino 1979, p. 227.

13. E' d'obbligo il riferimento alla fortunata monografia di T.S. Kuhn, *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*, tr. it. Einaudi, Torino 1972, in cui quello di Copernico diviene un vero e proprio "caso esemplare" per le altre rivoluzioni scientifiche, a cominciare da quella darwiniana (per non dire della cosiddetta "rivoluzione copernicana di Kant"); vedi al riguardo I.B. Cohen, *La rivoluzione nella scienza*, tr. it. Longanesi, Milano 1989, in particolare cap. 4.

14. La scoperta da parte di Keplero di quelle che saranno poi note come le sue tre leggi è stata tradizionalmente presentata come uno dei più grandi successi del metodo induttivo. Non c'è da stupirsi quindi che alcuni tra i maggiori critici dell'induttivismo – si pensi a Mach (vedi pp. 95-97) e a Duhem (vedi pp. 119-123) – ritornino su questo punto; per non dire di Popper (vedi pp. 256-258). Peraltro, nel contesto di un'ampia revisione della nozione stessa di induzione, la questione era stata affrontata da Whewell (vedi pp. 47-56), e proprio l'esame di questo caso storico era stato al centro dello scontro con Mill (vedi p. 46). Oggi vi è un sostanziale accordo sul fatto che "Keplero ottenne le sue leggi solo perché aveva precedentemente accettato la nuova teoria copernicana, e le considerazioni che lo condussero a ciò furono sottili e filosofiche: un delicato e qualitativo soppesare argomenti *pro* e *contra* la nuova teoria, un'ammirazione per la filosofia pitagorica, e forse persino una venerazione neoplatonica del Sole" (D. Gillies e G. Giorello, *La filosofia della scienza nel XX secolo*, Laterza, Roma-Bari 1995, p. 88). Ma questo caso storico è rilevante anche nel dibattito circa la possibilità di replicare con opportuni programmi implementati su computer le "euristiche" dei vari ricercatori. Vedi, per esempio, il punto di vista avanzato da P. Langley, H.A. Simon, G.L. Bradshaw e J.M. Zytkow, *Scientific Discovery. Computational Explorations of the Creative Processes*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) 1987; e per una valutazione critica D. Gillies, *Intelligenza artificiale e metodo scientifico*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1998, pp. 8-13. Per una disamina delle varie posizioni il lettore è rimandato a L. Magnani, *Ingegneria della conoscenza*, Marcos y Marcos, Milano 1997.

15. Vedi V. Ronchi, *Galileo e il suo cannocchiale*, Boringhieri, Torino 1964², L. Geymonat, *Galileo Galilei*, Einaudi, Torino 1957. Vedi anche la precedente nota 10.

16. Sulla "sintesi" newtoniana vedi G. Holton, "Analisi Sintesi", in *Enciclopedia*, vol. I, Einaudi, Torino 1977, pp. 491-522, in particolare pp. 493-501.

17. "Fino oltre il XVII secolo erano noti solo sei pianeti (Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno). L'astronomo William Herschel scoprì il settimo, Urano, so-

lo nella seconda metà del Settecento (per la precisione nel 1782). Si trattò di una scoperta casuale: Herschel stava esaminando con il telescopio un campo solare nella costellazione dei Gemelli, quando il suo occhio incrociò un corpo non ancora identificato che si rivelò una pianeta e fu battezzato Urano. [...] La scoperta dell'ottavo pianeta andò in modo del tutto diverso. Ebbe origine dai 'capricci' di Urano. Dalle leggi di Newton (compresa la legge dell'inverso del quadrato delle distanze) *N*, più la descrizione, chiamiamola *I*, del Sistema solare (che al tempo si credeva costituito solo da sette pianeti), era stata *dedotta* da Alexis de Bouvard, nei primi decenni dell'Ottocento, una proposizione *P* che descriveva l'orbita di Urano intorno al Sole. L'osservazione tuttavia rivelò *P* falsa: Urano non transitava nei punti in cui avrebbe dovuto transitare se *N* & *I* fosse stata vera. Forse, però, la deduzione di Bouvard poteva aver retto, dopo tutto, data la grande complessità del problema, Bouvard poteva aver commesso qualche errore. Così per evitare la conclusione che le leggi di Newton erano false [...] in primo luogo si ricontrò molto accuratamente la deduzione di Bouvard. Ma non emerse alcun errore [...]. La conclusione temuta sembrava ormai inevitabile. Ma per ottenerla era essenziale assumere la verità di *I*. Fino a quel punto era stata data per scontata. Ma questo atteggiamento era davvero giustificato? Perché mai *I* non poteva essere falsa? [...] Un giovane ricercatore inglese, John Couch Adams, ipotizzò l'esistenza di un ottavo pianeta con orbita esterna a Urano. Perché mai questa ipotesi? Perché i suoi effetti gravitazionali avrebbero potuto spiegare la traiettoria osservata di Urano e quella dedotta da Bouvard. Adams cercò allora di calcolare quali avrebbero dovuto essere la massa e l'orbita del pianeta 'immaginario' perché la traiettoria dedotta coincidesse con quella osservata. Non era un esercizio matematicamente semplice [...] ma] Adams lo portò a termine [...] dopo tre anni di duro lavoro. Il risultato [...] fu una nuova descrizione del Sistema solare, chiamata *I*, *incompatibile* con *I*, secondo cui il Sistema solare era costituito non da sette ma da otto pianeti con masse e orbite ben specificate. Adams aveva determinato *I* in modo tale che da *N* & *I* fosse deducibile l'orbita osservata di Urano. [...] Si trattava di verificare se la predizione nuova implicata da *I* fosse o meno vera [...]: il pianeta 'immaginario' esisteva davvero e la sua orbita era quella dedotta da Adams? Il giovane Adams si rivolse allora a chi poteva fare questo controllo: Sir George Airy, *Astronomer Royal of Britain*. Airy, non fidandosi di Adams e della sua strana ipotesi ('scherziamo, un nuovo pianeta?'), prima di prendersi il disturbo di puntare i telescopi sulla zona del cielo in cui Nettuno avrebbe dovuto transitare in base alla deduzione di Adams, gli propose un problema di ricerca più semplice per saggiarne le capacità. Adams si irritò e non rispose. Airy allora lasciò perdere. Un anno dopo però gli capito in mano un articolo in cui uno scienziato francese, Urbain Le Verrier, formulava un'ipotesi analoga, del tutto indipendentemente da Adams, calcolando per il proprio pianeta 'immaginario' un'orbita molto vicina a quella dedotta da Adams. Questa volta Airy si mosse e i telescopi vennero puntati nella direzione indicata da Adams e da Le Verrier. Nulla. Il pianeta 'immaginario' non compariva. Pensate forse che i fisici si siano rassegnati concludendo che dopo tutto la meccanica newtoniana era falsa? Niente affatto: il loro grado di fiducia nella sua verità era così alto da indurli a proseguire nella ricerca del pianeta 'immaginario'. Poco dopo la ricerca fu premiata. Nella notte del 23 settembre 1846, un amico di Le Verrier, Johann Galle, dell'Osservatorio di Berlino, finalmente identificò Nettuno. Si trattò, però, di un semplice colpo di fortuna. Lo identificò, infatti, lungo una traiettoria diversa da quella dedotta da Adams e da Le Verrier! Che cos'era successo? La deduzione richiesta per la determinazione della massa e dell'orbita del pianeta 'immaginario' era così complessa che per poterla completare con le tecniche di calcolo allora disponibili sia Adams sia Le Verrier avevano dovuto fare molte semplificazioni; a queste avevano

aggiunto di loro qualche errore. Il risultato fu che l'orbita calcolata divergeva significativamente da quella reale. Così, l'osservazione di Galle falsificò sia la descrizione *I* generalmente accettata sia quella *I'* proposta da Adams e da Le Verrier ma, verificando l'esistenza di un ottavo pianeta, consentì di trovare una descrizione *I'*, compatibile con l'evidenza osservativa disponibile, da cui era deducibile, in congiunzione con le leggi di Newton, l'orbita vera di Nettuno" (M. D'Agostino e M. Mondadori, *Logica*, Bruno Mondadori, Milano 1997, pp. 109-111). Oltre all'ormai classico M. Grosser, *The Discovery of Neptune*, Dover, New York 1962, vedi anche R.S. Cohen, *Physical Science*, Holt, Rinehart and Winston, New York 1972, in particolare p. 48, T. Standage, *The Neptune File*, Penguin, London 2000. Per il caso di Plutone vedi, per esempio, M. Hack, *Sette variazioni sul cielo*, Raffaello Cortina, Milano 1999, pp. 92-94. Per l'approccio più generale tramite teoria delle perturbazioni vedi N.T. Rosevear, *Mercury's Perihelion from Le Verrier to Einstein*, Clarendon Press, Oxford 1982. Come è noto, una strategia analoga a quella di Le Verrier non funzionò per il pericolo di Mercurio. Vedi, per esempio, D. Gillies e G. Giorello, *La filosofia della scienza nel XX secolo*, cit., pp. 381-386. Sui "pianeti che si comportano male" il riferimento è a H. Putnam, "La corroborazione delle teorie", in I. Hacking (a cura di), *Rivoluzioni scientifiche*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1984, pp. 97-128.

18. La cui importanza epistemologica difficilmente può essere sottovalutata: vedi per esempio A. Musgrave, *Senso comune, scienza e scetticismo*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1993, in particolare pp. 269-295. Per un'ampia panoramica sulle geometrie non euclidee, oltre all'ormai classico R. Bonola, *La geometria non euclidea, esposizione storico-critica del suo sviluppo*, Zanichelli, Bologna 1906, vedi anche E. Agazzi e D. Palladino, *Le geometrie non euclidee e i fondamenti della geometria dal punto di vista elementare*, La Scuola, Brescia 1997 (nuova edizione aggiornata); L. Bol, *Le problème mathématique de l'espace*, Springer, Berlin-Heidelberg 1995; U. Bottazzini, *Il piano di Hilbert. Storia della matematica moderna e contemporanea*, UTET, Torino 1990; P. Freguglia, *Fondamenti storici della geometria*, Feltrinelli, Milano 1982; L. Magnani (a cura di), *Le geometrie non euclidee*, Zanichelli, Bologna 1978; P. Parrini, *Fisica e geometria dall'Ottocento a oggi*, Loescher, Torino 1979; R. Torretti, *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*, Reidel, Dordrecht 1984; I. Toth, "La révolution non euclidienne", in *La Recherche*, 8 (1977), pp. 143-151.

19. Per le innovazioni concettuali di Einstein (e di Poincaré) in relazione al pericolo di Mercurio vedi nota 17. Più in generale vedi B. Bertotti, "La teoria della relatività generale a confronto con l'esperienza", in U. Curi (a cura di), *L'opera di Einstein*, Corbo, Ferrara 1989, pp. 61-76; G. Boniolo e M. Donato, "Dalla relatività galileiana alla relatività generale", in G. Boniolo (a cura di), *Filosofia della fisica*, Bruno Mondadori, Milano 1997, pp. 7-167.

20. Su questo si rimanda all'esemplare F. Gil, "Disciplina/discipline", in *Enciclopedia*, vol. IV, Einaudi, Torino 1978, pp. 1044-1055.

21. J.W.F. Herschel, *Discorso preliminare sullo studio della filosofia naturale*, tr. it. Pomba, Torino 1840, p. 97. Su questo punto vedi E. Bellone, *Il mondo di carta*, Mondadori, Milano 1976, in particolare pp. 78-86.

22. Ma il lettore tenga conto delle qualificazioni di R. Thom, nota 8.

23. Vedi a questo proposito quanto osservato in M. Piarelli Palmarini, "Anticipazione", in *Enciclopedia*, vol. I, Einaudi, Torino 1977, pp. 649-677. Proprio dalla caratterizzazione machiana della spiegazione scientifica muove il recente N. Eldredge, *Le trame dell'evoluzione* (tr. it. a cura di T. Plevani, Raffaello Cortina, Milano 2002), per prospettare "il lungo ragionamento" con cui Darwin giustifica l'evoluzione delle specie a partire da un antenato comune come conferimento di intelligibilità alle configurazioni o trame (*pattern*) che l'osservazione riscontra nella Natu-

ra. Insistendo sul fatto che la prospettiva evolutivista consente di scoprire nuovi pattern, magari insospettiti, Niles Eldredge ritrova alle radici del programma darwiniano un ben riuscito accoppiamento di "potere predittivo" e di "inferenza alla spiegazione migliore", intesa come quella che individua il miglior ordine possibile sottostante al *visibile complicato*.

24. "Lo stadio iniziale, l'atto del concepire una teoria, non mi sembra richiedere un'analisi logica né essere suscettibile. La questione [...] può rivestire un grande interesse per la psicologia empirica, ma è irrilevante per l'analisi logica della conoscenza scientifica. Quest'ultima prende in considerazione non già *questioni di fatto* (il *quid facti?* di Kant), ma soltanto questioni di *giustificazione o validità* (il *quid iuris?* di Kant). [...] Di conseguenza, farò una netta distinzione tra il processo che consiste nel concepire una nuova idea e i metodi e i risultati dell'esaminarla logicamente" (K. Popper, *Logica della scoperta scientifica*, tr. it. Einaudi, Torino 1970, pp. 9-10). Così Popper riprende la distinzione tra "contesto della scoperta" e "contesto della giustificazione" cara a Hans Reichenbach (*Experience and Prediction. An Analysis of the Foundation of Science*, University Chicago Press, Chicago 1938-1961). Si noti che tale distinzione è stata impugnata da non pochi critici della posizione popperiana. Valga per tutti I. Hacking, *Conoscere e sperimentare*, cit., pp. 3-21. Alcuni autori, in particolare Imre Lakatos ed Elie Zahar, ritengono di poter ripensare la distinzione popperiana nel quadro della "più generale" *metodologia dei programmi di ricerca scientifici* tenendo conto della dipendenza del controllo intersoggettivo dall'"euristica positiva", ossia da "quelle direttive, possibilmente derivanti da un principio metafisico, che guidano la ricerca indicando sia il metodo in cui le nuove teorie debbono essere costruite sia il modo in cui l'intero programma deve fare fronte alle confutazioni empiriche" (E. Zahar, *Einstein's Revolution. A Study in Heuristics*, Open Court, La Salle, Ill., 1989, in particolare pp. 11-13; per Imre Lakatos, vedi *questo volume*, p. 315).

25. "Entriamo in un laboratorio e avviciniamoci al tavolo ingombro di una quantità di strumenti: una pia elettrica, fili di rame rivestiti di seta, vaschette piene di mercurio, bobine, una barra di ferro che sostiene uno specchio. L'osservatore infiltra in piccoli buchi il gambo metallico di una spina con l'estremità in ebanite: il ferro oscilla e attraverso lo specchio rinvia su un regolo in celluloido una banda luminosa di cui l'osservatore segue i movimenti. Siete senza dubbio di fronte a un esperimento; il fisico osserva minuziosamente le oscillazioni del pezzo di ferro seguendo l'andirivieni della macchia luminosa. Se gli domandate cosa sta facendo, non vi risponderà che sta studiando la resistenza elettrica della barra di ferro che sostiene lo specchio, bensì che sta misurando la resistenza elettrica di una bobina. Se vi stupirete di tale risposta e gli domanderete il senso delle sue parole e che rapporto hanno con i fenomeni da lui e da voi contemporaneamente constatati, vi risponderà che la domanda necessiterebbe di spiegazioni troppo lunghe, sollecitandovi al tempo stesso a seguire un corso di elettricità. L'esperimento che avete visto fare, come ogni esperimento di fisica, consiste di due parti: in primo luogo, nell'osservazione di determinati fatti, osservazione che richiede soltanto attenzione e sensibilità, e non necessariamente conoscenza della fisica [...]. In secondo luogo, l'esperienza consiste nell'interpretazione dei fatti osservati; per procedere a tale interpretazione non è sufficiente avere attenzione vigile e un occhio esercitato, occorre conoscere le teorie accettate, saperle applicare, essere un fisico" (P. Duhem, *La teoria fisica: il suo oggetto e la sua struttura*, tr. it. Mulino, Bologna 1978, p. 162).

26. A proposito della dicotomia linguaggio teorico/linguaggio osservativo entro la cosiddetta *Standard View*, ossia nella prospettiva di matrice neopositivistica recepita negli anni Cinquanta soprattutto dalla filosofia della scienza di lingua inglese, così scrive (1972) Paul Feyereabend: "il complesso delle scienze (o di una scienza

particolare o di una specifica teoria scientifica) viene suddiviso in due linguaggi, uno osservativo e uno teorico, collegati da una complessa rete di enunciati, il cosiddetto "sistema interpretativo". Tempo addietro si pensava ancora di poter scomporre questa rete in enunciati singolari, definizioni, enunciati di riduzione [... ecc.]. Si pensava, altresì, che alcune semplici regole di corrispondenza tra gli elementi del linguaggio osservativo e gli elementi del linguaggio teorico sarebbero bastate a conferire a questi ultimi il loro consueto significato scientifico. Si è poi invece compreso che la situazione è molto più complicata e che occorre un complesso sistema di enunciati per poter attuare il collegamento. Tuttavia, si continua a insistere nell'assunzione che il contenuto empirico, anzi il significato intelligibile delle teorie, possa essere spiegato e insegnato solo in questo modo" (P.K. Feyerabend, *Il realismo scientifico e l'ignoranza della scienza*, tr. it. a cura di A. Arrosi, il Saggiatore, Milano 1983, pp. 346-347). Ovviamente, per Feyerabend l'intero progetto è fallimentare, e comunque non rispondente all'effettiva pratica scientifica – ma per un'interessante rivalutazione della distinzione tra linguaggio osservativo/linguaggio teorico si veda B. van Fraassen, *L'immagine scientifica*, tr. it. Clueb, Bologna 1985, in particolare pp. 39-44. Sul passaggio dalla *Standard View* alla *New Philosophy of Science* sia lecito il rimando a G. Boniolo e P. Vidali, *Filosofia della scienza*, cit., pp. 162-219.

27. Celebre è, per esempio, la chiusa della *Ricerca sull'intelletto umano* (1748) di Hume: "Quando [...] scorriamo i libri di una biblioteca, di che cosa dobbiamo distaccarci? Se prendiamo in mano qualche volume – di teologia, di metafisica scolastica, per esempio – chiediamoci: 'Contiene forse dei ragionamenti astratti intorno alla quantità o al numero?' No. 'Contiene dei ragionamenti basati sull'esperienza e relativi a dati di fatto o all'esistenza delle cose?' No. Allora diamolo alle fiamme, giacché esso non può contenere niente altro che sofisteria e inganno" (D. Hume, *Ricerca sull'intelletto umano e sui principi della morale*, tr. it. a cura di R. Giaroli, Rusconi, Milano 1980, pp. 335-336). Ma sull'"accendere i roghi" vedi anche la battuta di Lakatos in *questo volume*, p. 307. Quanto a Kant, già nel suo *discorso di un visionario spiegato coi sogni della metafisica* egli si spinge ben oltre il motivo occasionale della polemica, la concezione dei mondi ultraterreni di Emanuel Swedenborg, per bollare dottrine tradizionalmente metafisiche come "aborti" della ragione, "vitelli lunari", ovvero "orride chimere" – ma la demarcazione tra queste concezioni pseudoscientifiche e la scienza genuina compiuta solo da chi, in possesso di una corretta metafisica (di cui Kant si dichiara "imamorto"), è in grado di riportare qualsiasi prodotto dell'immaginazione umana nell'ambito dell'esperienza possibile. Su questo punto vedi P.F. Strawson, *Saggio sulla critica della ragion pura*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1985.

28. È stato forse Ludovico Geymonat il primo a segnalare, almeno in Italia, come Popper, pur pubblicando la *Logik der Forschung* (1934) nella collana degli *Schriften zur wissenschaftlichen Weltanschauung* diretta da Philipp Frank e Moritz Schlick, si sia "trovato in opposizione molto netta con le tesi difese dai diversi indirizzi neopositivisti" proprio sulla questione del significato (e sul conseguente ruolo della metafisica come fonte da cui "zampillano" genuine teorie scientifiche – altro che in sistemi di asseriti non significanti!). Vedi L. Geymonat, "Logica e filosofia della scienza", in *Rivista di filosofia*, 27, 3 (1936), ripubblicato in *La Vienna dei paradossi: controverse filosofiche e scientifiche nel Wiener Kreis*, a cura di M. Quaranta, Il Poligrato, Padova 1991, pp. 25-52, in particolare pp. 48-52.

29. Sia lecito il rimando a G. Boniolo, "Filosofia della scienza: la chiusura di un ciclo?", in L. Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, vol. 8, a cura di E. Bellone e C. Mangione, Garzanti, Milano 1996, pp. 3-78.

30. Per tale questione sia lecito il riferimento a G. Giorello e M. Mondadori,

"Metafisica", in *Enciclopedia*, vol. IX, Einaudi, Torino 1980, pp. 160-188. Lo stesso Popper ha rielaborato la sua originaria idea della metafisica come fonte da cui possono scaturire teorie scientifiche in una vera e propria concezione di programmi di ricerca metafisici (vedi pp. 246-247). Per quanto debba a questa concezione la metodologia dei programmi di ricerca scientifica di Lakatos, vedi pp. 304-305.

31. Per la nozione di "rivoluzione scientifica" il rimando d'obbligo è a T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, tr. it. Einaudi, Torino 1969. Si tenga però conto non solo delle importanti rivalutazioni sotto il profilo della storia delle idee (I.B. Cohen, *La rivoluzione nella scienza*, cit.), ma anche della revisione delle proprie posizioni operata dallo stesso Kuhn (vedi i saggi raccolti in T.S. Kuhn, *Dogma contro critica. Mondi possibili nella storia della scienza*, a cura di S. Garai, Raffaello Cortina, Milano 2000). Resta comunque il fatto che la questione della "rivoluzione", dai contesti apparentemente più astratti come la matematica (vedi D. Gillies, a cura di, *Revolutions in Mathematics*, Oxford University Press, Oxford 1992) a quelli più drammaticamente concreti come la politica (vedi, per esempio, S. Vaca, "Rivoluzione", in *Enciclopedia*, vol. XII, Einaudi, Torino 1981, pp. 244-269), pone un problema di legittimità delle pratiche che induce a interrogarsi sulla stessa natura della razionalità, scientifica e politica insieme. Su questo punto vedi W. Newton-Smith, *The Rationality of Science*, Routledge and Kegan Paul, London 1981.

32. Si vedano in *questo volume* le pagine di Poincaré e si ricordi che esse furono oggetto di non poche riserve critiche da parte di autori quali Duhem, Enriques, Popper e Geymonat. Su Duhem in questo anticonvenzionalista vedi R. Maiocchi, "Pierre Duhem's *The Aim and Structure of Physical Theory*: a Book against Conventionalism", in *Synthese*, 83 (1990), pp. 385-400; di Enriques vedi le osservazioni nei *Problemi della scienza* (1906), Zanchelli, Bologna 1989 (ristampa anastatica della seconda edizione 1909), pp. 144, 151-173, 207, e in *Scienza e razionalismo* (1912), Zanchelli, Bologna 1990 (ristampa anastatica), pp. 21, 25; di Popper vedi *Logica della scoperta scientifica*, cit., pp. 66-73, 138 sgg.; quanto a Geymonat si vedano in particolare i *Saggi di filosofia neorazionalistica*, Einaudi, Torino 1953, pp. 53-66. Con il convenzionalismo fa i conti in *questo volume* Lakatos, vedi p. 308. Per un orientamento generale sulla tematica della "convenzione" in ambito scientifico (ma anche altrove) vedi S. Amsterdamski, "Convenzione", in *Enciclopedia*, vol. III, Einaudi, Torino 1978, pp. 1033-1049. Per una critica delle "strategie convenzionalistiche", con particolare riferimento a geometria e fisica, non va dimenticato l'importante lavoro di H. Putnam, "La refutazione del convenzionalismo", tr. it. in *Mente, linguaggio e realtà*, Adelphi, Milano 1987, pp. 177-214.

33. "Le rivoluzioni che, nello sviluppo scientifico, producono nuove divisioni tra campi di ricerca, sono molto simili agli episodi di speciazione che avvengono nell'evoluzione biologica. [...] E i problemi presentati dalla speciazione (l'identificazione di un episodio di speciazione, per esempio, avviene spesso dopo che è trascorso un certo tempo dalla sua comparsa e, anche allora, è impossibile datare il momento della sua origine) sono molto simili a quelli presentati dal cambiamento rivoluzionario, dalla comparsa e dall'individuazione di nuove specializzazioni scientifiche" (T.S. Kuhn, "La strada percorsa dalla *Struttura*", tr. it. in *Dogma contro critica*, cit., pp. 147-148).

34. È proprio in questo contesto, una volta definito l'universo del discorso, che riemergono quei problemi ontologici più specifici o "regionali" rispetto ai quali la tematica dell'ontologia generale può suonare come introduttiva. Su questo punto sia lecito il rimando all'ormai classico G. Preli, "Pluralità della scienza e unità eideutica del mondo scientifico", in *Il Pensiero*, 1-3 (1965), ora in *Saggi filosofici*, 2 voll., presentazione di M. Dal Pra, La Nuova Italia, Firenze 1976, vol. I, pp. 497-512.

35. H. Reichenbach, *Filosofia dello spazio e del tempo*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1977.

36. Sia lecito il rimando a M.L. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *Introduzione alla filosofia della scienza*, cit., pp. 253-266.

37. E. Boncinelli, "Fatti di tempo", in C.M. Martini, *Figli di Crono*, a cura di E. Sindoni e C. Sinigaglia, Raffaello Cortina, Milano 2001, pp. 87-103, in particolare p. 102. Vedi anche E. Boncinelli, "Fisica e biologia: la dimensione temporale del riduzionismo", in G. Peruzzi (a cura di), *Scienza e realtà. Riduzionismo e antiriduzionismo nelle scienze del Novecento*, Bruno Mondadori, Milano 2000, pp. 129-145; nonché "Discussione su riduzionismo e anti-riduzionismo", *ibidem*, pp. 156-169.

38. P.K. Feyerabend, *Il realismo scientifico e l'autorità della scienza*, cit., in particolare pp. 345-394.

John Frederick William Herschel

La ricerca delle cause: induzione e deduzione

La traduzione delle pagine qui raccolte di William Whewell, di Charles Sanders Peirce e di Rudolf Carnap è del curatore. Nel caso del testo di Carnap si è tenuto conto della recente traduzione di M. Ferrari in *Il Circolo di Vienna*, a cura di M. Ferrari, La Nuova Italia, Firenze 2000, pp. 55-71. Per ragioni di uniformità si è provveduto a modificare le traduzioni esistenti là dove lo si è ritenuto opportuno. Ovviamente, la responsabilità di tali modifiche è del curatore.

“Un uomo intelligente, rinchiuso da solo e avente a disposizione un tempo illimitato, potrebbe con il ragionamento cogliere tutte le verità della matematica, prendendo l'avvio da quelle semplici nozioni di spazio e di numero di cui egli non potrebbe privarsi senza cessare di pensare. Ma, quali che fossero gli sforzi del suo ragionamento, egli non potrebbe mai raccontare ciò che accadrebbe a un grumo di zucchero immerso nell'acqua o quali impressioni si produrrebbero nei suoi occhi mescolando i colori giallo e blu.” Con queste parole John Frederick William Herschel (1792-1871) rivendica l'esperienza come “fonte della nostra conoscenza” del mondo in cui viviamo. Quando pubblica il *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (1830), questo figlio d'arte – il padre era il celebre Friedrich Wilhelm (William, all'inglese) Herschel (1738-1822), originario di Hannover ma emigrato in Gran Bretagna insieme con la sorella Caroline Lucretia (1750-1848), con la quale condivide il merito della scoperta del pianeta Urano (1781) – aveva dato importanti contributi in astronomia, ottica, chimica e geologia. Ultimata la sua formazione al Trinity College di Cambridge, nel 1812 – insieme con George Peacock (1791-1858), algebrista e poi riformatore economico, e Charles Babbage (1792-1871), matematico-ingegnere che già allora stava progettando il suo *Difference Engine n. 1* (il primo vero calcolatore moderno) – aveva fondato l'Analytical Society con l'intento di innovare la notazione del Calcolo, svincolandola dal linguaggio di Newton “delle fluenti e delle flussioni” per adottare le tecniche e i simboli del “calcolo differenziale e integrale” dominante nel continente europeo. Nei suoi viaggi in Francia, Germania e Italia era entrato in contatto con scienziati come Jean-François-Dominique Arago (1786-1853), Jean-Baptiste Biot (1774-1862), Alexander von Humboldt (1769-1859) e Giovan Battista Amici (1786-1863). Nel 1827 è in Irlanda, dove fa la conoscenza di William Rowan Hamilton (1805-1865), ottico e astronomo, che passerà alla storia soprattutto per la grandiosa riformulazione della meccanica teorica e per la teoria dei quaternioni. Nel 1830 redige due articoli per la *Edinburgh Encyclopedia*, curata da Sir David Brewster (1781-1868), fisico e biofisico scozzese che sarà

il grande antagonista di William Whewell nella polemica sulla "pluralità dei mondi abitati". Nello stesso anno dà alle stampe il *Discorso preliminare* come primo volume della *Cabinet Cyclopaedia* di Dionysus Lardner.

Destinato a un pubblico ampio e non di soli specialisti, il libro suscita l'entusiasmo di Charles Robert Darwin, che nella sua *Autobiografia* ricorda come gli avesse acceso "il desiderio ardente di portare un contributo, anche il più umile, al nobile edificio delle scienze naturali". Dal canto suo, John Stuart Mill lo definisce "la più chiara e meno incompleta visione della natura della verità filosofica, dell'evidenza su cui poggia, e dei mezzi per scoprirla e controllarla, che si possa trovare in qualsiasi testo sia stato mai scritto"; mentre Whewell lo giudica una delle migliori analisi dell'effettiva procedura induttiva delle scienze naturali, capace, in virtù della sua stessa originalità, di restituire piena dignità alla tradizione baconiana. E non è un caso che questa opera rechi sul frontespizio un ritratto di Francis Bacon (1561-1626), celebrato come araldo del "metodo sperimentale" e artefice della genuina "filosofia della natura". Come per Bacone, anche per Herschel il "filosofo naturale" (tra qualche anno Whewell autorizzerà l'uso del termine "scienziato") deve liberarsi di "tutte le nozioni preconcette su quello che dovrebbe essere l'ordine della natura". Solo l'esperienza consente di accertare i fatti e di scoprire le leggi naturali. Tuttavia, precisa Herschel, per esperienza accumulata da tutto il genere umano, in tutte le epoche, registrata nei libri e trasmessa per tradizione, "Saper collegare sagacemente i dati per interpretarli: è questo il tratto distintivo della scoperta. Ma, si chiede l'antico sodale di Babbage, esiste mai un congegno che permetta di trovare la verità? Costruire una sorta di *Engine of Discovery* era stato il sogno che aveva accomunato empiristi come Bacone e razionalisti come Leibniz, ed era ancora ricorrente nella cultura britannica dell'Ottocento. Per Herschel, però, l'unico congegno capace di simili risultati è l'intelletto umano, radicalmente diverso da qualsiasi *machina* poiché non può essere costretto a operare secondo regole rigide. Ciò non significa che non sia possibile distinguere il procedere del filosofo naturale da quello del ragionatore chiuso in una stanza! Le generalizzazioni via via ottenute collegando e interpretando i dati sensibili, al pari delle "ipotesi" avanzate in nome della "libertà della speculazione" (e contro il monito di una certa tradizione baconiana-newtoniana), dovranno essere sottoposte alla validazione intersoggettiva. Nella terminologia di Herschel, la scoperta per *induzione* si alterna al controllo per *deduzione*: "quasi tutte le nostre principali induzioni debbono essere considerate come serie di salite e di discese, e di conclusioni che vengono tratte a partire da pochi casi e che vengono controllate per mezzo di prove su molti casi". È in questo quadro che Herschel rivaluta l'esperimento cruciale baconiano: come i cartelli stradali (*crucets*) consentono di scegliere la giusta direzione tra vie diverse, così i casi cruciali permettono di "decidere quella [giusta] tra ipotesi rivali". Ma il controllo dell'ipotesi sarà tanto più illuminante quanto più numerosi sono i

fatti imprevisi che confermano l'ipotesi in questione. "Prove di questa natura sono irresistibili e convincono con una forza che quasi nessuna altra possiede." Un punto questo che ritroveremo al centro della polemica tra Mill e Whewell, e che nel Novecento riemergerà soprattutto nel dibattito concernente la *Logica* di Karl Popper. In Herschel tale tematica epistemologica si intreccia strettamente con la sua pratica scientifica: nel 1833 egli compila *A Treatise of Astronomy*, rielaborato nel volume *Outlines of Astronomy*, che ebbe ben nove edizioni vivente l'autore (l'ultima postuma nel 1896); a questa riflessione si affianca una rigorosa indagine osservativa su nebulose e ammassi stellari. Nel 1874, a tre anni dalla morte, viene pubblicato l'imponente *Catalogue of 10,300 Multiple and Double Stars*.

Le pagine che seguono sono tratte da J.F.W. Herschel, *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (facsimile dell'edizione 1830), Johnson Reprint Corp., New York 1966; tr. it. di Gaetano Denarchi, *Discorso preliminare sullo studio della filosofia naturale*, Pomba, Torino 1840, pp. 162-163, 169-177.

Per approfondire: E. Bellone, *Il mondo di carta*, Mondadori, Milano 1976, pp. 78-86; S.F. Cannon, *Science in Culture: The Early Victorian Period*, Dawson, New York 1978; P. Casini, "Herschel, Whewell, Stuart Mill e l'analogia della natura", in *Rivista di filosofia*, 72 (1981), pp. 372-391; C.J. Ducasse, "John F.W. Herschel's Methods of Experimental Inquiry", in R.M. Blake, C.J. Ducasse e E.H. Madden (a cura di), *Theories of Scientific Method: The Renaissance Through the Nineteenth Century*, University of Washington Press, Seattle 1960, pp. 153-182; G. Lanaro, *La teoria dell'induzione in William Whewell*, Franco Angeli, Milano 1987, pp. 23-33; D. Oldroyd, *Storia della filosofia della scienza*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1989, pp. 188-194; G. Pancaldi, "Conoscenza fine a se stessa, tecniche e pubblico della scienza nel *Preliminary Discourse* di J. Herschel", in A. Santucci (a cura di), *Eredità dell'Illuminismo: studi sulla cultura europea fra Settecento e Ottocento*, il Mulino, Bologna 1979, pp. 435-462.



La prima cosa che una mente filosofica considera, quando un qualche nuovo fenomeno le si presenta, è la sua *spiegazione* o il modo di riferirlo a un' immediata causa produttrice. Se questa non si può accertare, la seconda è di *generalizzare* il fenomeno e d'includerlo, con altri analoghi, nell'espressione di qualche legge, con la speranza che la sua considerazione, in uno stadio più avanzato della conoscenza, possa condurre alla scoperta di una causa prossima adeguata.

Avendoci l'esperienza mostrato il modo in cui un fenomeno dipende dall'altro in un gran numero di casi, con l'ampliarsi della scienza ci troviamo provvisti di un capitale sempre crescente di tali fenomeni antecedenti o cause (limitandoci per il presente alle sole cause prossime) sufficienti, sotto varie modificazioni, per la produzione di una gran moltitudine di effetti, oltre a quelli che originariamente ce le fecero conoscere. A queste cause Newton ha dato il nome di *verae causae*; vale a dire, cause riconosciute come aventi una vera esistenza in natura, e non essenti mere ipotesi o creazioni della mente. Ecco un esempio di questa distinzione: il fenomeno delle conchiglie trovate in rocce a una grand'altezza sopra il livello del mare è stato attribuito a parecchie cause. Da alcuni è stato ascritto a una virtù plastica del terreno; da altri alla fermentazione; altri l'attribuiscono all'influenza dei corpi celesti; altri al passaggio accidentale di pellegrini con le loro conchiglie; taluni a uccelli che si nutrono di testacei; e tutti i moderni geologi d'accordo, alla vita e alla morte di veri molluschi sul fondo del mare, e a una susseguente alterazione del relativo livello del mare e della terra. Di queste cause, la virtù plastica e l'influenza celeste appartengono alla classe dei parti della fantasia. Il trasporto accidentale fatto da pellegrini è una causa reale e potrebbe dar ragione delle poche conchiglie qua e là sparse in passaggi frequentati, ma non è generale abbastanza perché serva da spiegazione. La fermentazione è generalmente una causa reale, in quanto *una tal cosa esiste*; ma non è causa reale della produzione di una conchiglia in una roccia, poiché non si è mai visto che questo fosse uno dei suoi effetti, e le rocce e i sassi non fermentano. Di contro, che un testaceo muoia sul fondo del mare e lasci la sua conchiglia nella melma, dove s'incrosta e s'interra, è cosa che accade tutti i giorni; e che il letto del mare si elevi fino a diventare terreno asciutto è fenomeno osservato tante volte, e in tal estensione, da far sì che questa sia tenuta per *vera causa* da valersene in una sana filosofia.

[...]

Ma quando la causa di un fenomeno non si presenta in un modo ovvio nel considerare il fenomeno stesso, né ci è in certa maniera suggerita da un caso di forte analogia [...], non ci rimane altra speranza se non nella deliberata collazione di tutti i casi paralleli che possiamo riunire; cioè nella formazione di una classe di fatti, aventi

il fenomeno di cui si tratta per capo di classificazione; e nel cercare fra gli individui di questa classe qualche altro punto comune di accordo, fra i quali la causa verrà di necessità a trovarsi. Ma se apparisse più di una causa, dobbiamo allora procurare di trovare o, se non sarà possibile, di *produrre fatti nuovi* in cui ciascuna delle cause verrà successivamente a mancare, mentre tuttavia concorderanno nel punto generale in questione. Troviamo qui l'uso di ciò che Bacone chiama "*esempi cruciali* [*crucial instances*]", cioè fenomeni messi in campo per decidere fra due cause, ciascuna delle quali ha le medesime analogie in suo favore. E qui pure vediamo l'utilità dell'*esperienza* rispetto alla semplice osservazione passiva. Facciamo un *esperimento* del genere detto *cruciale* quando formiamo combinazioni e mettiamo in azione cause, qualcuna delle quali è deliberatamente esclusa, mentre qualcun'altra è espressamente ammessa, e dal concordare o discordare del fenomeno risultante con quelli della classe che si esamina, facciamo dipendere il nostro giudizio.

Quando vogliamo stabilire regole generali per guidare e agevolare la nostra ricerca di una causa comune a una gran massa di fatti collazionati, dobbiamo aver riguardo ai caratteri di quella relazione che intendiamo per causa ed effetto. Ora, questi sono:

1. Connessione invariabile e, in particolare, antecedenza invariabile della causa e conseguenza dell'effetto, a meno di un impedimento opposto da una causa contrastante. Ma è da osservarsi che in un gran numero di fenomeni naturali l'effetto è prodotto gradatamente, mentre la causa spese volte va crescendo d'intensità; di modo che l'antecedenza dell'una e la conseguenza dell'altro sono difficili a scoprirsi, quantunque realmente esistano. D'altro canto, sovente l'effetto segue la causa così istantaneamente che l'intervallo non può essere avvertito. Pertanto è talvolta difficile decidere di due fenomeni che costantemente vanno insieme, quale sia la causa e quale l'effetto.

2. Negazione invariabile dell'effetto quando è assente la causa, a meno che qualche altra sia capace di produrre lo stesso effetto.

3. Accrescimento o diminuzione dell'effetto, con l'accresciuta o diminuita intensità della causa, nei casi che ammettono crescita o diminuzione.

4. Proporzionalità dell'effetto alla sua causa in tutti i casi di azione *diretta non impedita*.

5. Subentramento dell'effetto in luogo della causa.

Da questi caratteri siamo condotti alle seguenti osservazioni che possono essere considerate come altrettante proposizioni prontamente applicabili a casi particolari, o come regole del filosofare:

1. Che se nella nostra collazione di fatti ve n'è uno in cui una determinata peculiarità o circostanza concomitante è assente od oposta, questa peculiarità non può essere la causa che cerchiamo.
2. Che una circostanza in cui tutti i fatti senz'eccezione concordano può essere la causa cercata, o se non è tale, almeno sarà un effetto collaterale della stessa causa: se vi fosse soltanto un punto d'accordo, questa possibilità diviene certezza; e, d'altra parte, se ve ne fosse più d'uno, vi possono essere cause concorrenti.
3. Che non dobbiamo negare l'esistenza di una causa in favore della quale abbiamo un accordo unanime di forti analogie, quantunque non sia apparente come una tal causa possa produrre l'effetto, o anche quantunque sia difficile concepire la sua esistenza nelle circostanze del caso; in tali emergenze si deve ricorrere all'esperienza quando è possibile piuttosto che decidere *a priori* contro la causa, e tentare se non possa essere resa apparente. [...]
4. Che i fatti contrari sono quanto i favorevoli ugualmente istruttivi per la scoperta delle cause. [...]
5. Che le cause divergono frequentemente ovvie per il semplice ordinamento dei fatti secondo il grado d'intensità in cui qualche qualità peculiare esiste; anche se non necessariamente, perché altre cause oppponenti o modificanti possono agire nel medesimo tempo. [...]
6. Che queste cause oppponenti o modificanti possono esistere non conosciute, e annientare gli effetti della causa che cerchiamo, in casi che, se non fosse per la loro azione, cadrebbero nella nostra classe di fatti favorevoli; e che perciò si possono sovente far scomparire eccezioni, rimuovendo o tenendo conto di queste cause oppponenti. Quest'osservazione diviene della massima importanza quando (come spesso accade) una sola eccezione di riguardo affronta, per così dire, una schiera di fatti altrimenti unanime in favore di una certa causa. [...]
7. Se possiamo trovare prodotti dalla natura, o produrre di proposito noi stessi, due casi che s'accordino *esattamente* in tutto fuorché in un particolare, e in quello differiscano, la sua influenza nel produrre il fenomeno, se pur ne ha una, *deve* per ciò divenire

sensibile. Se questo particolare sarà presente in un caso e assente del tutto nell'altro, la produzione o non produzione del fenomeno deciderà se sia o no la sola causa; ancor più, evidentemente, se sarà presente *in modi contrari* nei due casi, e l'effetto ne sarà per ciò rovesciato. Ma se la sua totale presenza o assenza produrrà soltanto un cambiamento nel *grado* o nell'intensità del fenomeno, non potremo allora far altro che concludere che esso opera come causa o condizione concorrente con qualche altra da cercarsi altrove. È relativamente raro in natura trovare casi del tutto diversi in una circostanza e concordi in ogni altra; ma quando chiamiamo l'esperienza in nostro aiuto, è facile produrli; di fatto è questa la grande applicazione di *esperimenti d'investigazione* nelle ricerche fisiche. Essi divergono più preziosi e i loro risultati più chiari, in proporzione che possiedono questa qualità (di concordare esattamente in tutte le loro circostanze tranne che in una), giacché la domanda che si fa alla natura diviene così più precisa e la sua risposta più decisiva.

8. Se non potremo ottenere una negazione o un'opposizione compiuta della circostanza di cui vogliamo verificare l'influenza, dovremo cercare di trovare casi nei quali essa vari considerevolmente di grado. Se ciò non sarà possibile, potremo forse indebolire o accrescere la sua influenza introducendo qualche nuova circostanza, la quale, astrattamente considerata, parrà dover *probabilmente* produrre questo effetto, e così otterremo una testimonianza indiretta della sua influenza. Ma non dovremo dimenticare che la testimonianza così ottenuta è indiretta, e che la nuova circostanza introdotta può avere un'influenza diretta sua propria, o esercitare una che modifica qualche *altra* circostanza.

9. I fenomeni complicati, in cui compaiono numerose cause concorrenti, contrarie, o del tutto indipendenti l'una dall'altra, che operano a un tempo in modo da produrre un effetto composto, possono essere semplificati sottraendo l'effetto di tutte le cause conosciute, per quanto la natura del caso lo permetta, sia con un raziocinio deduttivo o per via di ricorso all'esperienza, lasciando per così dire un *fenomeno residuo* da spiegare. Di fatto, è per questo processo che la scienza, nel suo attuale stato di crescita, è particolarmente promossa. La maggior parte dei fenomeni che la natura presenta sono assai complicati; e quando gli effetti di tutte le cause conosciute sono stimati con esattezza e sottratti, i

fatti residui appaiono costantemente nella forma di fenomeni del tutto nuovi e conducenti alle più importanti conclusioni.

Per esempio: il ritorno della cometa predetto dal professor Encke molte volte successivamente, e la generale concordanza del suo luogo calcolato con quello osservato durante i suoi periodi di visibilità, ci condurrebbero a dire che la sua gravitazione verso il Sole e i pianeti è la sola e sufficiente causa di tutti i fenomeni del suo moto *orbitale*; ma quando l'effetto di questa causa è rigorosamente calcolato e sottratto dal moto osservato, si trova che un *fenomeno residuo* viene a sopravanzare, la cui esistenza non si sarebbe mai altrimenti verificata, ed è una piccola anticipazione del tempo delle sue riapparizioni o una diminuzione del suo tempo periodico che non può essere spiegata con la gravità e di cui si deve perciò ricercare la causa. Quest'anticipazione potrebbe essere causata dalla resistenza di un *mezzo* disseminato nelle regioni celesti; e siccome vi sono pure altre buone ragioni per credere che questa sia una *vera causa*, essa è stata attribuita a una tale resistenza.

[...]

Nello studio della natura non dobbiamo [...] essere scrupolosamente considerati, siamo sicuri che si troverà debitamente *representato* nella nostra conclusione finale: ma questo è impossibile per quei casi che ci erano *sconosciuti*, e difficilmente può aver luogo in tutti i casi conosciuti; poiché tale è la tendenza della mente umana alla speculazione, che alla minima idea di un'analogia fra alcuni pochi fenomeni, essa si slancia, per così dire, verso una causa o una legge, trascurando al contempo tutto il rimanente; sicché quasi tutte le nostre principali induzioni debbono essere considerate una serie di salire e di discese, e di conclusioni tratte da pochi casi, verificate con l'esperimento di molti.

Ogniquale volta, dunque, crediamo di essere stati condotti dall'induzione alla cognizione della causa prossima di un fenomeno o di una legge di natura, la prima cosa da fare è esaminare delibe-

ratamente e *seriatim* tutti i casi che abbiamo raccolti della sua occorrenza, al fine di persuaderci che si possono spiegare con la nostra causa, o sono correttamente inclusi nell'espressione della nostra legge; e nel caso che occorra una qualche eccezione, essa deve venire diligentemente notata e posta da parte per un nuovo esame da farsi dopo un maggior progresso, nel quale forse la causa dell'eccezione verrà a comparire, e l'eccezione medesima (fatta ragione dell'effetto di quella causa) potrà essere conciliata con la nostra induzione. Ma se le eccezioni fossero numerose e varie nelle loro apparenze, la nostra credenza nella conclusione sarà indebolita in proporzione, e in ogni caso la sua importanza sarà scemata dal perdere la sua universalità.

Nel dirigere questa verificaione [*verification*] dobbiamo considerare se la causa o la legge cui siamo condotti sia già riconosciuta come una più generale, la cui natura è ben intesa, e per cui il fenomeno di cui si tratta non sarebbe altro che un caso di più da aggiungersi agli altri già noti, o veramente se sia una causa o legge meno generale, meno nota, o interamente nuova. In questo secondo caso la nostra verificaione basterà, se proverà meramente che tutti i casi considerati sono all'evidenza pertinenti. Ma nel primo il processo della verificaione è di un genere assai più rigoroso e definito. Dovremo rintracciare l'azione della nostra causa in un modo distinto e preciso, qual è modificata da tutte le circostanze di ciascun caso; dovremo stimarne gli effetti e mostrare che nulla rimane indietro che non sia spiegato; almeno in quanto la presenza di sconosciute cause modificanti non vi è interessata.

Questa è precisamente la specie di operazione in cui i *fenomeni residui* [...] possono occorrere. Se la nostra induzione è veramente valida e comprensiva, *tutto ciò* che rimane di non spiegato nel paragone della sua conclusione coi casi particolari in tutte le loro circostanze è un fenomeno di tal fatta, e viene a sua volta a essere soggetto di ragionamento induttivo per scoprire le sue cause e le sue leggi. In questo modo si può dire che siamo presentati ai fatti con gli occhi della ragione, e così acquistiamo continuamente la conoscenza di nuovi fenomeni e di nuove leggi, che giacciono sotto la superficie delle cose e danno origine a nuove parti di scienza, sempre più remote dall'osservazione comune. [...]

Ma una legge di natura non ha quel grado di generalità che ne fa un gradino a maggiori induzioni se non è *universale* nella sua

applicazione. Non possiamo fidarci che ci faccia stendere le nostre vedute al di là del circolo dei casi dai quali fu tratta, se non abbiamo già sperimentato il suo potere di farlo; se non ci ha attualmente messi in grado prima dell'esperimento di dire che cosa accadrà in casi analoghi a quelli originariamente contemplati; se, infine, non ci siamo espressamente posti nell'attitudine di suoi antagonisti e non abbiamo anche tenacemente tentato invano di trovarvi eccezioni. Il pregio e l'importanza di una legge stabilita devono essere stimati nella precisa proporzione del modo con cui essa sopporta questo estremo rigore d'esperimento; e il nostro secondo passo nella verificaione di un'induzione deve pertanto consistere nell'*estendere* la sua applicazione a casi originariamente non contemplati; nel variare con studio le circostanze sotto le quali le nostre cause agiscono, con l'intento di assicurarci se il loro effetto è generale; e nello spingere l'applicazione delle nostre leggi a casi estremi. [...]

I più sicuri e migliori segni caratteristici di un'induzione ben fondata ed estesa sono tuttavia quelli che occorrono quando le sue verificazioni spuntano, per così dire, di per se stesse alla luce da quelle parti donde meno si aspetterebbero, o anche fra casi di quella medesima specie che dapprima le si reputavano ostili. Prove di questa natura sono irresistibili e convincono con una forza che quasi nessuna altra possiede. [...]

Ma il lavoro dell'induzione non finisce qui: il suo risultato finale deve essere ricercato in tutte le sue conseguenze, e applicato a tutti quei casi che sembrano anche remotamente poter influire sul soggetto dell'investigazione. Ogni nuova aggiunta al nostro capitale di cause diviene un mezzo di nuovo attacco da una posizione più favorevole contro tutte quelle parti non ancora spiegate di fenomeni passati che già resisterono ai nostri sforzi. Non si può inculare abbastanza allo studioso della natura che non vi è quasi fenomeno naturale che possa essere pienamente e compiutamente spiegato in tutte le sue circostanze senza l'unione di parecchie e forse di tutte le scienze. È vero che i grandi fenomeni dell'astronomia potrebbero essere riguardati come eccezioni; ma questo proviene solamente dall'esser quelli di una natura così vasta, che una sola delle più estese forze della natura è, per così dire, posta in prima fila, e tutti quegli agenti la cui sfera d'azione è ristretta a minori limiti, e che determinano la produzione di fenomeni più a

noi vicini, rimangono indietro e divengono in confronto insignificanti. Ma nei fenomeni più intimi che ci attorniano, la cosa è assai diversa. In che complicità di diverse parti di scienza non siamo noi tratti dalla considerazione di un fenomeno qual è la pioggia, o la fiamma, o mille altri che costantemente accadono sotto i nostri occhi? È appena possibile giungere alla conoscenza di una legge di qualche generalità in qualunque parte della scienza, che non ci somministri immediatamente il mezzo di ampliare la nostra conoscenza di altre innumerevoli, remotissime dal punto da cui partiamo; sicché una volta che siamo impegnati in un'indagine fisica è impossibile predire dove si possa andare a finire.

Quest'osservazione appartiene più propriamente al metodo inverso o *deduttivo*, per cui seguiamo le leggi nelle loro remote conseguenze. Ma è importantissimo notare che per un felice successo dell'indagine scientifica si richiede continuamente l'uso alternato dei due metodi *induttivo* e *deduttivo*. Il sentiero per cui ascendiamo al sapere dev'essere fatto piano e trito nei suoi inizi gradini a forza di salire e di discendere, prima che possiamo raggiungere qualche altezza, nonché arrampicarci sulla vetta. L'impresa è troppo grande per un solo sforzo; stazioni sono da stabilirsi, e comunicazioni da tenersi aperte con tutto ciò che sta al di sotto. Ma per lasciare il linguaggio metaforico, non v'è nulla di così istruttivo, o di così atto a condurre all'acquisto di vedute generali, quanto questo rinvenimento delle conseguenze di una legge [...]. In ogni soggetto in cui essa sembri dover probabilmente esercitare un'influenza. La scoperta di una nuova legge di natura, di un nuovo fatto finale, o di uno che assuma anche temporaneamente quest'apparenza, è come la scoperta di un nuovo elemento nella chimica. Così il selenio fu appena scoperto da Berzelius nella fabbrica di vitriolo di Fahlun, che immediatamente fu trovato nei sublimati di Stromboli, e nei rari e curiosi prodotti delle miniere ungheresi. E lo stesso accade di ogni nuova legge o fatto generale. Appena è annunziato, i suoi vestigi si trovano dappertutto, e ognuno si meraviglia che sia rimasto così lungamente celato. Quindi avviene che una luce inaspettata è finalmente sparsa su parti di scienza che erano state abbandonate per disperazione, e senza speranza lasciate in preda alle tenebre.

John Stuart Mill

Uniformità di natura e licenza d'errore

“Lo stato dell'intero Universo in qualsiasi istante crediamo sia la conseguenza del suo stato nell'istante precedente. Perciò uno che conoscesse tutti gli agenti esistenti al momento presente, la loro collocazione nello spazio e tutte le loro proprietà, in altre parole le leggi della loro azione, potrebbe predire l'intera storia successiva dell'Universo, almeno se non sopravvenisse qualche nuova volizione di un potere capace di dominare l'Universo stesso.” In questa affermazione di ferrea legalità culmina la concezione dell'uniformità della natura dispiegata da John Stuart Mill (1806-1873) nel suo *A System of Logic*, concepito nel 1826 ma portato a termine solo nel 1843. Tale uniformità è la sola giustificazione per la nostra fede nell'induzione, vero e unico “fondamento di tutte le scienze”, non solo induttive ma anche deduttive! Contro ogni forma di “apriorismo” e di “kantismo” presente pure sul suolo britannico (Whewell), e andando oltre gran parte della tradizione empiristica, Mill dichiara che anche i principi dell'aritmetica e gli assiomi della geometria non sono altro che “una classe, la classe più universale, delle induzioni dall'esperienza, i casi più semplici e facili di generalizzazione dai fatti forniti dai sensi o dalla coscienza interiore”. Le stesse leggi della logica, compreso il principio di (non) contraddizione, devono essere ricercate tra “le nostre prime e più familiari generalizzazioni dall'esperienza” (così, quel principio è soltanto un'espressione astratta, che nasce dalla constatazione che il credere e il non credere sono due stati mentali che si escludono a vicenda).

Ma se le leggi di natura e gli stessi assiomi della matematica (e i principi della logica) non sono che uniformità attestate dall'esperienza, che cosa mai garantisce la legge di causalità, secondo la quale, appunto, tali uniformità sussistono nel mondo? Mill ammette la possibilità di concepire che in qualcuno dei “molti firmamenti” che compongono l'Universo gli eventi possano succedersi senza seguire alcuna legge: in tal senso la legge di causalità non è una verità necessaria, bensì anch'essa un portato dell'induzione. “Arriviamo a questa legge generale con una generalizzazione da molti leggi di generalità inferiore. Non avremmo mai avuto la nozione di causalità [...]”

come condizione di tutti i fenomeni, se non fossero prima divenuti familiari in molti casi di causalità [...]. La più ovvia delle uniformità particolari suggerisce e attesta l'uniformità generale, e l'uniformità generale, una volta stabilita, ci pone in grado di dimostrare le altre uniformità particolari di cui è composta." L'uniformità della natura sembra così ottenuta mediante quella che (almeno dai tempi di Bacone) è nota con il nome di enumerazione semplice. Ma se la legge che giustifica l'induzione è a sua volta un'induzione, non ci troviamo di fronte a un circolo vizioso? Mill osserva che le cose sarebbero effettivamente così se ci si attenesse all'usuale versione della dottrina aristotelica del sillogismo, per la quale la verità universale o premessa maggiore di un ragionamento costituisce la dimostrazione della verità particolare o conclusione che sarebbe dedotta da essa e da un'ulteriore verità particolare o premessa minore. Per Mill, però, la premessa maggiore non è la giustificazione della conclusione, ma è essa stessa giustificata insieme con la conclusione da una medesima evidenza: "tutti gli uomini sono mortali" [premesse maggiore] non è la prova che lord Palmerston [che è un uomo]: premessa minore] sia mortale [conclusione], ma la nostra esperienza passata della mortalità ci autorizza a inferire *sia* la verità generale *sia* il fatto particolare, e questo esattamente con lo stesso grado di sicurezza di quella. Lord Palmerston (1784-1865) pare non abbia gradito l'esempio.

Quella di Mill, tuttavia, non è soltanto un'indagine logica nel senso peculiare in cui il termine è impiegato nel suo poderoso trattato. Alla convinzione che la logica presentata nel *Sistema* possa liberare la mente delle persone dai "non sensi" della metafisica si accompagna la fiducia che la comprensione delle leggi che governano il comportamento dei singoli, e la stessa formazione delle collettività – si ricordi che Mill riprende su questo punto la dottrina utilitaristica di Jeremy Bentham (1748-1832), assimilata inizialmente attraverso l'insegnamento del padre, James Mill (1773-1836) –, consentirà non solo di rimodellare la morale, ma di ripassare il diritto e la società.

Mill non fu filosofo da salotto bensì riformatore coinvolto nelle *cause* (in senso morale) che via via riteneva giuste (ma "giusto", per lui, voleva dire conforme all'utilità generale!): dall'appoggio agli abolizionisti del Nord degli Stati Uniti, impegnati in un contenzioso con gli schiavisti del Sud sfociato in guerra civile ("The War Between the States", 1861-1865), all'impegno per l'irlandese *Home Rule*, per non dire del suo coinvolgimento nella questione femminile (*The Subjection of Women*, 1869) o della sua simpatia per il socialismo. I suoi *Three Essays on Religion*, pubblicati postumi nel 1874, costituiscono un'esemplare analisi delle pretese delle religioni positive, esponendo al contempo i lineamenti di una genuina religione naturale. Quanto alle sue ricerche in ambito politico-economico, l'opera più rilevante sono i *Principles of Political Economy* (1848). È bene infine ricordare che nel 1858 così scriveva alla "compagna della [sua] vita" Harriet Taylor (1808-1858): "più penso al progetto di un volume sulla Libertà, più mi convinco che sarà letto e farà sensazione". Si tratta del suo capolavoro, *On*

Liberty. Gli storici del pensiero milliano hanno a lungo discusso se e in che misura le dottrine di questo saggio – e in particolare l'idea che lo smantellamento di qualsiasi presunzione di infallibilità sia il motore tanto della scoperta scientifica quanto di una piena fioritura umana – si concilino con quelle del *Sistema*, oppure se Mill non sia a un tempo un Doctor Jekyll inesorabile determinista e un Mister Hyde appassionato libertario.

Le pagine che seguono sono tratte da J.S. Mill, *A System of Logic Ratiocinative and Inductive*, London 1872⁸, tr. it. a cura di G. Facchi, *Sistema di logica razionativa e induttiva*, Ubaldini, Roma 1968, pp. 382-386, 388-393, 394-395; e da J.S. Mill, *On Liberty*, John W. Parker & Son, London 1859, tr. it. a cura di S. Magistretti, *Saggio sulla libertà*, il Saggiatore, Milano 1984, pp. 40-46.

Per approfondire: R.P. Anschutz, *The Philosophy of J.S. Mill*, Clarendon Press, Oxford 1953; C. Cressari, *La libertà e le sue garanzie: il pensiero politico di John Stuart Mill*, il Mulino, Bologna 1988; M. Dorato, "Il positivismo della natura: le leggi di natura di J.S. Mill", in G. Boniolo e M. Dorato (a cura di), *La legge di natura. Analisi storico-critica di un concetto*, McGraw-Hill, Milano 2001, pp. 181-204; G. Frongia, *John Stuart Mill e il metodo scientifico*, esi, Napoli 1984; S. Jacobs, "John Stuart Mill on Induction and Hypothesis", in *Journal for the History of Philosophy*, 29 (1991), pp. 69-83; J. Loose, "Whewell and Mill on the Relation between Philosophy of Science and History of Science", in *Studies in History and Philosophy of Science*, 14 (1983), pp. 113-121; F. Restaino, *John Stuart Mill e la cultura filosofica britannica*, La Nuova Italia, Firenze 1968; A. Ryan, *The Philosophy of John Stuart Mill*, Macmillan, London 1987⁹.



Sono in numero di due i modi più semplici e più ovvi di scegliere fra le circostanze che precedono o seguono un fenomeno quelle cui è realmente connesso da una legge invariabile. Con l'uno si confrontano fra loro differenti casi in cui il fenomeno si verifica. Con l'altro si confrontano casi, in cui il fenomeno si verifica, con casi per altri rispetti simili, in cui non si verifica. Questi due metodi si possono denominare rispettivamente metodo della concordanza e metodo della differenza. [...]

Denoteremo gli antecedenti con le lettere maiuscole dell'alfabeto, e i conseguenti corrispondenti con le minuscole. Sia dunque A un agente o causa, e oggetto della nostra indagine sia quello d'accertare quali siano gli effetti di questa causa. Se possiamo tro-

vare o produrre l'agente *A* in tali varie circostanze, che i casi differenti non abbiano in comune altra circostanza che *A*, allora qualsiasi effetto troviamo prodotto in tutte le nostre prove viene indicato come effetto di *A*. Supponiamo, per esempio, che si provi *A* insieme con *B* e *C*, e che l'effetto sia *abc*; supponiamo poi che *A* sia provato con *D* ed *E*, e che l'effetto sia *ade*. Allora possiamo ragionare così: *b* e *c* non sono effetti di *A*, perché non ne furono prodotti nel secondo esperimento, né lo sono *d* ed *e*, perché non ne furono prodotti nel primo. L'effetto reale di *A* deve essersi prodotto in ambedue i casi; orbene, a questa condizione non risponde altra circostanza che *a*. Il fenomeno *a* non può essere stato l'effetto di *B* o *C*, perché si produsse dove non c'erano, né di *D* o di *E*, perché si produsse dove non c'erano. Quindi è l'effetto di *A*. [...]

In maniera simile possiamo indagare sulla causa d'un dato effetto. Sia *a* l'effetto. Qui [...] abbiamo solo la risorsa dell'osservazione senza l'esperimento. Non possiamo prendere un fenomeno, di cui non conosciamo l'origine, e tentare di trovarne il modo di produzione producendolo; se riuscissimo in tale prova a casaccio, potrebbe essere solo accidentalmente. Ma se possiamo osservare *a* in due combinazioni differenti, *abc* e *ade*, e se sappiamo, o possiamo scoprire, che le circostanze antecedenti in questi casi erano rispettivamente *ABC* e *ADE*, possiamo concludere, con un ragionamento simile a quello dell'esempio precedente, che *A* è l'antecedente connesso al conseguente *a* da una legge di causalità. Possiamo dire che *B* e *C* non possono essere cause di *a*, perché nel suo secondo verificarsi non erano presenti, né lo sono *D* ed *E*, perché non erano presenti nel suo primo verificarsi. Sola fra le cinque circostanze, *A* si è trovata fra gli antecedenti di *a* in ambedue i casi.

Per esempio, l'effetto *a* sia la cristallizzazione. Confrontiamo casi in cui si sa che i corpi assumono una struttura cristallina, ma non hanno altro punto di concordanza, e troviamo che hanno un antecedente in comune *e*, per quanto possiamo osservare, solo uno: la deposizione d'una materia solida da uno stato liquido, sia uno stato di fusione oppure di soluzione. Ne concludiamo che la solidificazione d'una sostanza da uno stato liquido è un antecedente invariabile della sua cristallizzazione.

In questo esempio possiamo andare oltre e dire che è non solo l'antecedente invariabile, ma la causa, o per lo meno l'evento prossimo che completa la causa. Infatti in questo caso siamo in

grado, dopo avere scoperto l'antecedente *A*, di produrlo artificialmente *e*, trovando che ne segue *a*, verificare il risultato della nostra induzione. L'importanza d'invertire così la prova si manifestò singolarmente quando, tenendo una fiala d'acqua carica di particelle silicee indisturbata per anni, un chimico [...] riuscì a ottenere cristalli di quarzo [...].

Ma se non possiamo produrre artificialmente il fenomeno *A*, la conclusione che sia la causa di *a* rimane soggetta a un dubbio assai considerevole. Sebbene sia un antecedente invariabile di *a*, può non esserne quello incondizionale, ma può precederlo come il giorno precede la notte o la notte il giorno. Quest'incertezza sorge dall'impossibilità d'assicurarci che *A* sia il solo antecedente immediato comune ad ambedue i casi. Se potessimo essere garantiti d'avver accettato tutti gli antecedenti invariabili, potremmo essere sicuri che l'antecedente invariabile incondizionale, o causa, si deve in qualche modo trovare fra loro. Disgraziatamente quasi mai è possibile accertare tutti gli antecedenti, a meno che il fenomeno non sia tale che lo possiamo produrre artificialmente. Anche allora la difficoltà è semplicemente attenuata, non eliminata: gli uomini sapevano come alzare l'acqua nelle pompe lungo tempo prima che si rendessero conto di quella che era realmente la circostanza operante nei mezzi che usavano, ossia la pressione dell'atmosfera sulla superficie scoperta dell'acqua. È tuttavia molto più facile analizzare completamente un complesso di combinazioni compiute da noi, che non l'intera massa complessa delle azioni che la natura viene a esercitare nel momento della produzione d'un dato fenomeno. Possiamo trascurare alcune delle circostanze essenziali in un esperimento con una macchina elettrica, ma nella peggiore delle ipotesi ne verremo a conoscenza meglio che di quelle d'un temporale.

Il modo di scoprire e provare le leggi della natura, che abbiamo ora esaminato, procede secondo il seguente assioma. Tutte quelle circostanze che si possono escludere, senza pregiudizio per il fenomeno, o possono esserne assenti nonostante la sua presenza, non gli sono connesse causalmente. Eliminate così le circostanze casuali, se ne rimane una sola, quell'una è la causa che andiamo cercando; se ne rimane più d'una, o tutte insieme sono la causa, o la causa si trova fra loro. Lo stesso avviene, *mutatis mutandis*, per l'effetto. Siccome questo metodo procede confrontando casi differenti per accertare in che cosa concordino, l'ho deno-

minato metodo della concordanza, e si può accettare come suo principio normativo il canone seguente: *Primo canone* – Se due o più casi del fenomeno investigato hanno soltanto una circostanza in comune, la circostanza in cui soltanto concordano tutti i casi è la causa (o l'effetto) del fenomeno dato.

[...] Nel metodo della concordanza ci sforzavamo d'ottenere casi che concordassero nella circostanza data, ma differissero in ogni altra. Invece nel presente metodo [quello della differenza] esigiamo due casi che si rassomiglino fra loro per ogni altro rispetto, ma differiscano per la presenza o l'assenza del fenomeno che desideriamo studiare. Se è nostro scopo scoprire gli effetti d'un agente A , dobbiamo procurarci A in qualche complesso di circostanze accertate, come ABC , e dopo aver notato gli effetti prodotti, confrontarli con l'effetto delle rimanenti circostanze BC , quando A sia assente. Se l'effetto di ABC è abc , e l'effetto di BC è bc , è evidente che l'effetto di A è a . Così pure, se cominciamo all'altra estremità, e desideriamo investigare la causa d'un effetto a , dobbiamo scegliere un caso, come abc , in cui quell'effetto si verifichi, e in cui gli antecedenti siano ABC . Dobbiamo poi cercare un altro caso in cui le rimanenti circostanze bc si verifichino senza a . Se in quel caso gli antecedenti sono BC , sappiamo che la causa di a dev'essere A : o A da solo, o A in congiunzione con qualcuna delle altre circostanze presenti. [...]

Gli assiomi impliciti in questo metodo sono evidentemente i seguenti. Ogni antecedente che non si possa escludere senza impedire il fenomeno è la causa, o una condizione di quel fenomeno. Ogni conseguente che si possa escludere, senz'altra differenza negli antecedenti che l'assenza d'uno particolare, è l'effetto di quest'ultimo. Invece di confrontare casi differenti d'un fenomeno, per scoprire in che cosa concordino, questo metodo confronta un caso in cui esso si verifica con un caso in cui non si verifica, per scoprire in che cosa differiscano. Il canone che costituisce il principio regolatore del metodo della differenza si può esprimere come segue: *Secondo canone* – Se un caso in cui il fenomeno investigato si verifica, e un caso in cui non si verifica, hanno tutte le circostanze in comune salvo una, e quell'una si verifica solo nel primo caso, la circostanza in cui solamente differiscono i due casi è l'effetto, o la causa, o una parte indispensabile della causa del fenomeno.

I due metodi ora enunciati hanno molti caratteri rassomiglianti, ma fra loro vi sono anche molte distinzioni. Sono ambedue

metodi di eliminazione. Questo termine (usato nella teoria delle equazioni per denotare il processo con cui si escludono l'uno dopo l'altro gli elementi d'una questione, e la soluzione viene fatta dipendere solamente dalla relazione fra gli elementi rimanenti) è ben adatto a esprimere l'operazione, analoga a questa, che sin dai tempi di Bacone è stata considerata il fondamento dell'indagine sperimentale, ossia l'esclusione successiva delle varie circostanze che si trovino ad accompagnare un fenomeno in un dato caso, per accertare quali fra loro possano essere assenti, compatibilmente con l'esistenza del fenomeno. Il metodo della concordanza poggia sul fondamento che tutto quello che si può eliminare non è connesso al fenomeno da alcuna legge. Il metodo della differenza ha per fondamento che tutto quello che non si può eliminare è connesso con il fenomeno da una legge.

[...]

Vi sono [...] molti casi in cui, sebbene il nostro potere di produrre il fenomeno sia completo, o non si può affatto utilizzare il metodo della differenza, o non lo si può senza un uso preliminare del metodo della concordanza. Ciò avviene quando l'azione con cui possiamo produrre il fenomeno non è quella d'un unico antecedente, ma una combinazione d'antecedenti, che non abbiamo modo di separare l'uno dall'altro e presentare a parte. [...]

Se confrontiamo vari casi in cui a si verifica, e troviamo che hanno tutti in comune la circostanza A e nessun'altra, per quanto si può osservare, il metodo della concordanza, sin qui, attesta una connessione fra A e a . Per convertire quest'evidenza di connessione in una prova di causalità con il metodo diretto della differenza, dovremmo essere capaci, in qualcuno di questi casi, per esempio ABC , di prendere a parte A e osservare se in questo modo si impedisca a . Or bene, supponendo – com'è spesso il caso – che non siamo in grado di compiere questo esperimento decisivo, pure, purché possiamo in qualche modo scoprire quello che ne sarebbe il risultato, se potessimo compierlo, il vantaggio sarà lo stesso. Supponiamo allora che, come prima avevamo esaminato vari casi in cui si verificava a , e abbiamo trovato che concordavano nel contenere A , così osserviamo ora vari casi in cui a non si verifica, e troviamo che concordano nel non contenere A . Ciò stabilisce, con il metodo della concordanza, la stessa connessione fra

l'assenza di A e l'assenza di a precedentemente stabilita fra la loro presenza. Siccome allora era stato dimostrato che ogniquale volta A è presente è presente a , così essendo ora dimostrato che l'esclusione di A elimina insieme a , abbiamo con l'una proposizione ABC, abc , e con l'altra BC, bc i casi positivo e negativo che il metodo della differenza esige.

Si può chiamare questo metodo metodo indiretto della differenza, o metodo congiunto della concordanza e della differenza. Esso consiste in un doppio uso del metodo della concordanza, con ciascuna prova indipendente dall'altra, e tale da corroborarla. Esso tuttavia non equivale a una prova con il metodo diretto della differenza. Infatti, non si risponde ai requisiti del metodo della differenza, se non siamo del tutto sicuri che i casi affermativi di a non concordano in alcun antecedente salvo A , o che i casi negativi di a non concordano in nulla, salvo la negazione di A . Or bene, se fosse possibile, come non è mai, avere codesta sicurezza, non avremmo bisogno del metodo congiunto; infatti, l'uno o l'altro dei due complessi di casi separatamente sarebbe allora sufficiente per provare una causalità. Perciò questo metodo indiretto si può considerare solo una grande estensione e un miglioramento del metodo della concordanza, ma non è partecipe della natura più persuasiva del metodo della differenza. Si può enunciare come suo canone il seguente: *Terzo canone* – Se due o più casi in cui il fenomeno si verifica hanno soltanto una circostanza in comune, mentre due o più casi in cui non si verifica non hanno nulla in comune, salvo l'assenza di quella circostanza, la circostanza in cui soltanto differiscono i due gruppi di casi è l'effetto, o la causa, o una parte indispensabile della causa di quel fenomeno.

[... Un ulteriore metodo] è stato appropriatamente denominato metodo dei residui. Il suo principio è assai semplice. Sottraendo da un dato fenomeno tutte le parti che, in virtù d'induzioni precedenti, si possono attribuire a cause note, il resto sarà l'effetto degli antecedenti trascurati, o il cui effetto sia ancora una quantità ignota.

Supponiamo, come prima, d'avere gli antecedenti ABC , seguiti dai conseguenti abc , e che con precedenti induzioni (fondate, supporteremo, sul metodo della differenza) abbiamo accertato le cause di qualcuno di questi effetti, o gli effetti di qualcuna di queste cause. Siamo quindi informati che l'effetto di A è a , e che l'effetto di B è b . Sottraendo la somma di questi effetti dal fenomeno

totale, rimane c , che ora, senza alcun nuovo esperimento, possiamo sapere che è l'effetto di C . Questo metodo dei residui è in realtà una particolare modificazione del metodo della differenza. Se il caso $ABC abc$ si fosse potuto confrontare con un singolo caso $AB ab$, avremmo provato che C è la causa di c con il comune procedimento del metodo della differenza. Tuttavia, nel caso presente, invece d'un singolo caso AB , abbiamo avuto da studiare separatamente le cause A e B , e da inferire dagli effetti che producono separatamente quale effetto avrebbero dovuto produrre nel caso ABC , dove agiscono insieme. Quindi, dei due casi richiesti dal metodo della differenza – l'uno positivo e l'altro negativo – quello negativo, ossia quello in cui il fenomeno dato è assente, non è il risultato diretto dell'osservazione e dell'esperimento, ma vi si è giunti per deduzione. In quanto è una tra le forme del metodo della differenza, il metodo dei residui partecipa della sua rigorosa certezza, purché le induzioni precedenti, quelle che diedero gli effetti di A e di B , siano state ottenute con lo stesso infallibile metodo, e purché siano certi che C sia il solo antecedente cui si possa riferire il fenomeno residuo c , il solo agente di cui non abbiamo già calcolato e sottratto l'effetto. Ma come non possiamo mai essere del tutto certi di questo, l'evidenza derivata dal metodo dei residui non è completa, se non possiamo ottenere C artificialmente e verificarlo separatamente, o se la sua azione, una volta suggerita, non si possa spiegare e provare deduttivamente secondo leggi note. [...] Il canone del metodo dei residui è il seguente: *Quarto canone* – Se si sottrae da un fenomeno la parte che precedenti induzioni ci hanno fatto conoscere come effetto di certi antecedenti, il residuo del fenomeno è l'effetto degli antecedenti rimanenti.

Resta una classe di leggi, che è impossibile accertare con uno dei tre metodi che ho cercato di caratterizzare, ossia le leggi di quelle cause permanenti o agenti naturali indistruttibili, che non si possono né escludere né isolare, che non possiamo né impedire che siano presenti, né fare in modo che esse sole siano presenti. Parrebbe a prima vista che non potessimo in alcun modo separare gli effetti di questi agenti dagli effetti di quegli altri fenomeni, con cui non si può impedire che coesistano. Invero, rispetto alla maggior parte delle cause permanenti non esiste tale difficoltà, in quanto, anche se non possiamo eliminarle come fatti coesistenti, possiamo eliminarle come agenti influenti, semplicemente compiendo l'esperimento

in una situazione locale oltre i limiti del loro influsso. Per esempio, il pendolo ha le oscillazioni disturbate dalla vicinanza d'una montagna. Allontaniamo il pendolo a una distanza sufficiente dalla montagna, e il disturbo cessa. Con questi dati possiamo determinare, con il metodo della differenza, quanto grande sia l'effetto dovuto alla montagna, e oltre una certa distanza tutto va precisamente come andrebbe, se la montagna non esercitasse alcun influsso, per cui ne concludiamo, con sufficiente ragione, che ne esercita uno.

Perciò la difficoltà d'applicare i metodi già trattati per determinare gli effetti delle cause permanenti si limita ai casi in cui ci sia impossibile uscire dai limiti locali del loro influsso. Il pendolo si può allontanare dall'influsso della montagna, ma non si può allontanare dall'influsso della Terra: non possiamo portare via la Terra dal pendolo, né il pendolo dalla Terra, per accettare se continuerrebbe a oscillare, nel caso che fosse eliminata l'azione che su esso esercita la Terra. Per quale evidenza attribuiamo allora le sue oscillazioni all'influsso della Terra? Non certo per una sanzionata dal metodo della differenza, perché manca uno dei due casi, il caso negativo. Nemmeno con il metodo della concordanza, infatti, anche se tutti i pendoli concordano in questo, che durante le loro oscillazioni la Terra è sempre presente, perché non potremmo egualmente bene attribuire il fenomeno al Sole, che è egualmente un fatto coesistente in tutti gli esperimenti? È evidente che, per stabilire anche un fatto di causalità semplice come questo, occorre un metodo diverso da quelli sinora esaminati.

[...]

Ma abbiamo ancora una risorsa. Anche se non possiamo escludere del tutto un antecedente, possiamo essere in grado di produrre in esso qualche modificazione, o può produrcela la natura. Per modificazione s'intende qui un mutamento in-esso, che non giunga sino alla sua totale eliminazione. Se qualche modificazione nell'antecedente A è sempre seguita da un mutamento nel conseguente a , rimanendo gli stessi gli altri conseguenti b e c , o viceversa, se ogni mutamento in a si trova a essere sempre preceduto da qualche modificazione in A , senza che alcuna sia osservabile in qualcuno degli altri antecedenti, possiamo con sicurezza concludere che a è in tutto o in parte un effetto riferibile ad A , o per lo meno in qualche modo a esso connesso causalmente. [...]

Un mutamento in una cosa che non equivalga alla sua totale eliminazione, cioè un mutamento che la lasci ancora la stessa cosa che era, dev'essere un mutamento di quantità o di qualcuna delle sue relazioni variabili con altre cose, delle quali relazioni variabili la principale è la posizione nello spazio. [...] Supponiamo che la questione sia quale influsso la Luna eserciti sulla superficie della Terra. Non possiamo compiere un esperimento in assenza della Luna, in modo da osservare a quali fenomeni terrestri la sua annichilazione porrebbe fine. Se tuttavia troviamo che tutte le variazioni nella posizione della Luna sono seguite da variazioni corrispondenti nel tempo e nel luogo dell'alta marea, essendo il luogo sempre o la parte della Terra che è più vicina alla Luna, o quella che ne è più remota, abbiamo un'ampia evidenza che la Luna è, in tutto o in parte, la causa che determina le maree. Avviene assai comunemente, come in questo caso, che le variazioni d'un effetto siano corrispondenti o analoghe a quelle della causa: man mano che la Luna si muove verso oriente, il punto d'alta marea fa lo stesso. Tuttavia questa non è una questione indispensabile, come si può vedere nello stesso esempio. Infatti, insieme con questo punto d'alta marea c'è nello stesso istante un altro punto d'alta marea diametralmente opposto a esso, che quindi si muove necessariamente verso occidente man mano che la Luna, seguita dalla più vicina delle ondate di marea avanza verso oriente; eppure, ambedue questi movimenti sono egualmente effetti del movimento della Luna. [...]

Il metodo con cui questi risultati furono ottenuti si può denominare metodo delle variazioni concomitanti, ed è regolato dal seguente canone: *Quinto canone*. - Ogni fenomeno che vari in qualche modo ogniquale volta vari in qualche modo particolare un altro fenomeno, è una causa o un effetto di quel fenomeno, o gli è connesso per qualche fatto di causalità.

M. Delle variazioni concomitanti

Se tutti gli uomini meno uno, avessero la stessa opinione, non avrebbero più diritto di far tacere quell'unico individuo di quanto ne avrebbe lui di far tacere, avendone il potere, l'umanità. Se l'opinione fosse un bene privato, privo di valore eccetto che per il suo proprietario, se essere ostacolati nel suo godimento fosse semplicemente un danno privato, il numero delle persone che lo

subiscono farebbe una certa differenza. Ma impedire l'espressione di un'opinione è un crimine particolare, perché significa derubare il genere umano, i posteri altrettanto che i vivi, coloro che dall'opinione dissentono ancor più di chi la condivide: se l'opinione è giusta, sono privati dell'opportunità di passare dall'errore alla verità; se è sbagliata, perdono un beneficio quasi altrettanto grande, la percezione più chiara e viva della verità, fatta risaltare dal contrasto con l'errore.

È necessario considerare separatamente queste due ipotesi, a ciascuna delle quali corrisponde un aspetto distinto della nostra argomentazione. Non possiamo mai essere certi che l'opinione che stiamo cercando di soffocare sia falsa; e anche se lo fossimo, soffocarla resterebbe un male.

In primo luogo, l'opinione che si cerca di sopprimere d'autorità può forse essere vera. Naturalmente, coloro che desiderano sopprimerla ne negheranno la verità: ma non sono infallibili. Non hanno alcuna autorità di decidere la questione per tutta l'umanità, togliendo a chiunque altro la possibilità di giudizio. Rifiutarsi di ascoltare un'opinione perché si è certi che è falsa significa presupporre che la propria certezza coincide con la certezza assoluta. Ogni soppressione della discussione è una presunzione di infallibilità: per condannarla basta questo ragionamento, semplice, ma non per questo inefficace.

Sfortunatamente per il buon senso degli uomini, la loro effettiva fallibilità non ha certo nei loro giudizi pratici il peso che le viene sempre attribuito nella teoria; poiché, mentre ciascuno sa benissimo di essere fallibile, pochi ritengono necessario cautelarsi dalla propria fallibilità, o ammettere la supposizione che una qualsiasi opinione di cui si sentano del tutto certi possa essere un esempio di quell'errore cui si riconoscono soggetti. I sovrani assoluti, o coloro che sono abituati a una deferenza illimitata, generalmente hanno questa completa fiducia nelle proprie opinioni su quasi ogni questione. Le persone in una condizione più felice, le cui opinioni sono talvolta contestate e per cui non è del tutto insolito essere corrette quando hanno torto, hanno la stessa fiducia illimitata soltanto nelle opinioni condivise da tutti coloro che le circondano, o di coloro ai cui giudizi si rimettono: poiché in misura proporzionale alla sua mancanza di fiducia nel proprio giudizio individuale, l'uomo abitualmente si basa, con fiducia assoluta, sull'infallibilità del

"mondo" in generale. E il mondo significa, per ciascuno, la parte di esso con cui è in contatto: il suo partito, la sua setta, la sua chiesa, la sua classe sociale; al confronto, l'uomo per cui il significato del mondo si estende a comprendere il suo paese o la sua epoca può essere quasi definito liberale e di larghe vedute. E la sua fede in questa autorità collettiva non è affatto scossa dal sapere che altre epoche, nazioni, sette, chiese, classi e parti politiche hanno pensato, e tuttora pensano, esattamente il contrario. L'uomo scarica sul proprio mondo la responsabilità di essere nel giusto, contro il dissenso dei mondi altrui; e non è mai turbato dal fatto che è stato il puro accidente a decidere quale di questi numerosi mondi sia oggetto della sua fiducia, e che le stesse cause che lo hanno reso anglicano a Londra l'avrebbero fatto diventare buddhista o confuciano a Pechino. Tuttavia è di per sé evidente, senza alcun bisogno di dimostrazione, che le epoche storiche non sono più infallibili degli individui: ciascuna ha creduto vere molte opinioni giudicate non solo false ma assurde da epoche successive; ed è certo che molte opinioni, attualmente comuni, saranno respinte dal futuro, come molte opinioni comuni in passato sono respinte dal presente.

L'obiezione più plausibile a questo ragionamento verrebbe probabilmente formulata nel modo seguente. Il divieto di propagare l'errore non implica una presunzione di infallibilità maggiore di quella implicita in qualsiasi altro atto compiuto dall'autorità pubblica in base al suo giudizio e alla sua responsabilità. Il giudizio è dato agli uomini perché lo usino. Dato che lo possono esercitare erroneamente, bisogna dirgli che non dovrebbero usarlo affatto? Vietare ciò che ritengono dannoso non significa pretendere di essere immuni dall'errore, ma adempiere al dovere, che tocca loro anche se sono fallibili, di agire in base alle proprie convinzioni e coscienze. [...] La certezza assoluta non esiste, ma esiste una sicurezza sufficiente ai fini della vita umana. Nella guida della nostra condotta possiamo, e dobbiamo, presumere che la nostra opinione sia vera: proibire a dei malvagi di sconvolgere la società diffondendo opinioni che riteniamo false e perniciose non presuppone nulla di più.

La mia risposta è che presuppone molto di più. Vi è la massima differenza tra presumere che un'opinione è vera perché, pur esistendo ogni opportunità di discuterla, non è stata confutata, e presumere la verità al fine di non permetterne la confutazione. È proprio la completa libertà di contraddire e confutare la nostra

opinione che ci giustifica quando ne presumiamo la verità ai fini della nostra azione; e solo in questi termini chi disponga di facoltà umane può trovare una sicurezza razionale di essere nel giusto.

Se consideriamo la storia dell'opinione oppure la normale condotta delle vicende umane, qual è la causa per cui entrambe non sono peggiori di quanto siano? Non certo la forza intrinseca della comprensione umana, poiché per ogni questione che non sia del tutto ovvia vi sono novantanove persone completamente incapaci di darne un giudizio per una che lo è; e la capacità della centesima è soltanto relativa, dal momento che la maggior parte degli uomini illustri di ciascuna generazione passata ha sostenuto molte opinioni che oggi vengono riconosciute erranee, e compiuto o approvato molti atti che oggi nessuno giustificerebbe. Perché, allora, tra gli uomini nel complesso predominano comportamenti e opinioni razionali? Se davvero vi è questo predominio – e deve esservi, altrimenti gli uomini sarebbero, e sarebbero sempre stati, in una situazione quasi disperata –, è dovuto a una qualità della mente umana, la fonte di tutto ciò che vi è di rispettabile nell'uomo inteso come essere sia intellettuale sia morale, e cioè la possibilità di correggere i propri errori, di rimediarsi con la discussione e l'esperienza. Non con la sola esperienza: la discussione è necessaria per indicarne l'interpretazione. [...] La costante abitudine a correggere e completare la propria opinione confrontandola con le altrui non solo non causa dubbi ed esitazioni nel tradurla in pratica, ma anzi è l'unico fondamento stabile di una corretta fiducia in essa [...].

Non è eccessivo richiedere che quell'eterogenea massa di pochi saggi e molti stupidi chiamata pubblico si sottoponga ai criteri che i più saggi tra gli uomini, coloro che più hanno diritto a confidare nel proprio giudizio, ritengono necessari per giustificare tale fiducia. La chiesa cattolica romana, la più intollerante di tutte, ammette persino alla canonizzazione di un santo l'"avvocato del diavolo", e lo ascolta pazientemente: a quanto pare, nemmeno il più puro tra gli uomini può essere ammesso agli onori postumi prima che tutte le pecche che il diavolo gli può rinfacciare non siano note e pesate. Se si vietasse di dubitare della filosofia di Newton, gli uomini non potrebbero sentirsi così certi della sua verità come lo sono. Le nostre convinzioni più giustificate non riposano su altra salvaguardia che un invito permanente a tutto il mondo a dimostrarle infondate.

William Whewell

Scoperta scientifica e concordanza delle induzioni

Avete letto i *canoni* di John Stuart Mill? "Essi danno per scontata proprio la cosa più difficile da scoprire, ossia la riduzione dei fenomeni a formule come quelle che ci vengono presentate." Così William Whewell (1794-1866) nel 1849. La storia della scienza mostra che quando una particolare ricerca è stata ridotta al problema di Mill – riportare i fenomeni *a, b, c* alle cause *A, B, C* –, la questione è ormai impostata, e per decidere basta una procedura "meccanica". Ma l'indagine scientifica deve prima individuare quali dei molti fenomeni che possono essere presi in considerazione siano pertinenti a una gamma di possibili cause (questo tema, già presente in Herschel, è riemerso peraltro nell'attuale dibattito su "metodo scientifico" e "Intelligenza Artificiale" aperto da quest'ultimo programma debuttato nel 1956). Per Whewell ciò richiede che il ricercatore nuova già da *concezioni* (*Conceptions*) *a priori*, rispetto all'esperienza, se non addirittura da vere e proprie "idee metafisiche" che, lungi dall'essere insensate, si rivelano la fonte da cui scaturiranno le teorizzazioni scientifiche. Se è l'induzione a caratterizzare le scienze naturali, allora questa dovrà essere intesa nei termini del "processo di una vera connessione di fatti [*Colligation of Facts*] mediante un'esatta e appropriata concezione". Ma qual è la garanzia che una data "concezione" permetta di meglio comprendere i meccanismi della natura e non si riduca a un arbitrario collegamento di fatti tra loro eterogenei? Da quella connessione prodotta dalla relativa "concezione" (la teoria "scientifica") devono potersi trarre predizioni (di successo) di fatti nuovi, cioè inaspettati o addirittura contrari a quanto sembrava plausibile attendersi. Così, è la riconduzione delle anomalie dell'orbita di Urano nello schema di Newton che meglio conferma la teoria newtoniana dei pianeti, premiandola con la scoperta di un'ulteriore pianeta (Nettuno), al quale bisogna ascrivere perturbazioni del moto di Urano. In tal modo Whewell recupera la caratterizzazione di Herschel del metodo scientifico come combinazione di induzione (scoperta) e deduzione (controllo), e la sua stessa concezione della spontaneità della natura, collegandola però a una grande istanza razionalistica (in una celebre lettera a Hermann Conring del 1678, Leibniz aveva sostenuto che "la maggior garanzia che si possa dare

di un'ipotesi [...] è che con il suo aiuto si possano fare predizioni anche intorno a fenomeni o esperimenti non previsti"). Contro questo modo di pensare, peraltro diffuso presso gli scienziati praticanti, si era scagliato Mill nel *Sistema*, là dove aveva trovato fondata la pretesa di una teoria "ad avere un'accoglienza più favorevole se, oltre a rendere conto di tutti i fatti, prima conosciuti, ha indirizzato verso l'anticipazione e la predizione di altre ipotesi in seguito verificate dall'esperienza". Il bersaglio polemico di Mill era la *Consilience of Inductions*, o concordanza di induzioni, che per Whewell costituiva l'unico genuino inizio che la nostra investigazione abbia colto nel segno, e che quindi abbiamo compiuto un nuovo passo verso la verità.

Classicista e moralista, presto rivelatosi versato in matematica e nelle scienze empiriche, Whewell doveva segnalarsi come brillante ricercatore in astronomia e in fisica, per non dire delle sue escursioni in architettura e in economia. Master del Trinity College, lo stesso che aveva ospitato Newton nei suoi giorni di Cambridge, vicecancelliere dell'Università, per un certo lasso di tempo titolare della cattedra di mineralogia (disciplina relativamente nuova alla quale egli riteneva di dover conferire lo statuto di matura scienza sperimentale), creatore di suggestive terminologie, Whewell si sentiva a un tempo "filosofo della scienza" e "storico della discipline scientifiche". Queste due attività, la riflessione sui metodi della scienza e la ricostruzione delle grandi scoperte del passato, sono impensabili l'una senza l'altra. Nel 1837 Whewell pubblica una *History of the Inductive Sciences*; e tre anni dopo (1840) quella *Philosophy of the Inductive Sciences*, che costituirà l'opera di una vita, almeno sotto il profilo epistemologico. Nella lettera dedicata al reverendo Adam Sedgwick, geologo di Cambridge e sostenitore della teologia naturale (quel genere letterario, nel quale si cimenterà anche Whewell, per cui le stesse conquiste della scienza portano alla soglia delle verità di fede), congedata il 1° maggio 1840, Whewell annuncia che "la morale della storia delle scienze" che "il pubblico tanto desidera da lui" è proprio l'impegnativa impresa della *Philosophy*. Nella prefazione alla seconda edizione (1847) egli ne enuncia a chiare lettere il programma: "Se noi riusciamo, guardando alla storia passata della scienza, a trovare qualcosa dell'elemento comune e del comune processo in tutte le scoperte, avremo quel tipo di *Filosofia della Scienza* che è la naturale speranza dell'epoca nostra". Si tratta in altri termini di riscrivere il programma di Bacone, tenendo conto non solo della pressione selettiva dell'esperienza, ma anche della potenza generativa dell'intelletto – tema che ritornerà nella terza edizione della *Philosophy* (1858-1860), che include un vero e proprio *Nouum Organum Renovatum*.

Polemista instancabile, critico della semplice induzione per somiglianza analogica (che attribuisce al nemico Mill), fautore di un grande rinnovamento a un tempo filosofico, scientifico e istituzionale, Whewell darà un saggio delle sue capacità nella polemica accesa dal suo *Of the Plurality of Worlds* (1853). Argomentando a favore dell'unicità della Terra come sede di vita intelligente, contro la dottrina della pluralità dei mondi abitati, for-

mulerà (nella terza edizione, 1854) una sorta di "principio antropico" *ante litteram* e darà origine a una lunga *querelle* con Sir David Brewster, del quale attaccherà a più riprese il rozzo induativismo, alla luce della concezione della scoperta esposta nella *Philosophy*.

Le pagine che seguono sono tratte da W. Whewell, *Philosophy of Inductive Sciences*, 2 voll., Routledge, London 1966 (ristampa della prima edizione Parker, London 1840), vol. 2, pp. 213-215, 217-218, 220-226, 228, 230-235.

Di Whewell si vedano anche: *Of the Plurality of Worlds: an Essay*, Parker, London 1853; *History of the Inductive Sciences, from the earliest to the present Times*, 3 voll., Parker, London 1837; *Nouum Organum Renovatum, being the second part of the Philosophy of Inductive Sciences*, 2 voll., Parker, London 1858.

Per approfondire: P. Achinstein, "Hypotheses, Probability and Waves", in *The British Journal for the Philosophy of Science*, 41 (1990), pp. 73-102; R.E. Butts (a cura di), *William Whewell's Theory of Scientific Method*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh 1968; Id., "Whewell's Philosophy of Scientific Discovery", in R.M. Blake, C.J. Ducasse e E.H. Madden (a cura di), *Theories of Scientific Method: The Renaissance Through the Nineteenth Century*, University of Washington Press, Seattle 1960, cap. 9; C. Camporesi, "Connessione e concezione: il problema del fondamento induttivo nell'opera di William Whewell", in *Antologia Vieuxseux*, 15 (1980), pp. 2-11; M.J. Crowe, *The Extraterrestrial Life Debate 1750-1900. The Idea of a Plurality of Worlds from Kant to Lowell*, Cambridge University Press, Cambridge 1986, pp. 265-355; Y. Elkana (a cura di), *William Whewell. Selected Writings of History of Science*, University Press of Chicago, Chicago & London 1984; D. Gilles, *Intelligenza artificiale e metodo scientifico*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1996, pp. 1-84, 117-133; G. Lanaro, *La teoria dell'induzione in William Whewell*, Franco Angeli, Milano 1987; S. Marcucci, L'"idealismo" scientifico di William Whewell, Le Monnier, Firenze 1963; W.R. Shea, "Cambiamenti teorici razionali. I vortici", in M. Pera (ed.), *I modi del progresso*, il Saggiatore, Milano 1985, pp. 137-159; E.W. Strong, "William Whewell and John Stuart Mill: Their Controversy about Scientific Knowledge", in *The Journal of the History of Ideas*, 16 (1955), pp. 209-231.



Dell'induzione si parla familiarmente come del processo per cui mettiamo insieme una *proposizione generale* [general proposition] da un certo numero di *casi particolari* [particular cases]: e da ciò traspare che spesso si immagina che la proposizione generale risulti dalla mera giustapposizione dei casi o, al più, dal mero congiun-

gerli ed estenderli. Ma se consideriamo il processo più da vicino [...], comprendiamo che questo è un modo inadeguato di presentare la questione. I fatti particolari non sono semplicemente messi insieme, ma vi è un nuovo elemento che viene aggiunto alla loro combinazione dal vero e proprio atto di pensiero mediante il quale essi sono combinati insieme. Vi è un concetto [*conception*] della mente che viene introdotto nella proposizione generale e che non esiste in alcuno dei fatti osservati. Quando i Greci, dopo aver a lungo osservato i moti dei pianeti, videro che questi moti potevano essere correttamente intesi come prodotti dal moto di una ruota che gira all'interno di un'altra ruota, queste ruote erano creazioni delle loro menti, creazioni che venivano aggiunte ai fatti da loro percepiti con i sensi. E anche se presto tali ruote non furono più trattate come materiali, ma vennero ridotte a mere sfere geometriche o cerchi, restarono comunque prodotti della mente – qualcosa che veniva aggiunto ai fatti osservati. Lo stesso vale per tutte le altre scoperte. I fatti sono già noti, ma sono isolati e sconnessi, fino al momento in cui lo scopritore fornisce di suo un principio di connessione. Le perle ci sono, ma non stanno insieme finché non si trova il filo che le collega. Così, le distanze e i periodi dei pianeti erano fatti ben distinti. E solo con la terza legge di Keplero che sono stati connessi in una singola verità. Ma le concezioni che questa legge adotta forniscono formite dalla mente di Keplero, e senza di queste i fatti non avevano alcuna rilevanza. I pianeti descrivono ellissi intorno al Sole, stando al punto di vista di numerosi astronomi, compreso Newton. Ma fu Newton a concepire la deflessione dalla tangente in questi moti ellittici sotto una nuova luce, come l'effetto di una forza centrale che segue una data legge. E capì appunto che egli fu in grado di scoprire che una forza del genere esisteva davvero. [...]

Quindi in ogni inferenza per Induzione vi è qualche concezione *sopraindotta* [*superinduced*] ai fatti. Dobbiamo d'ora in poi ritenere che questo sia il significato peculiare del termine *Induzione*. [...]

L'Invenzione [*Invention*] della concezione è sempre stata il grande passo nella scoperta [*Discovery*]: la verifica [*Verification*] della proposizione è stato invece il grande passo nella prova [*Proof*]. Se la Logica consiste nel puntualizzare le condizioni della prova, la Logica dell'Induzione deve consistere nel mostrare quali sono le condizioni della prova in inferenze del genere. [...]

Benché in ogni inferenza induttiva sia essenziale un atto d'invenzione, quest'atto presto non viene più notato. Una volta che abbiamo unito insieme fatti superinducendo loro una nuova concezione, quest'ultima, dopo essere stata introdotta e applicata, viene considerata inseparabilmente connessa con i fatti, necessariamente implicata in essi. Una volta che hanno unito insieme i fenomeni nelle loro menti in virtù di tale concezione, gli esseri umani non ritornano facilmente alla condizione di fatti separati e incoerenti in cui questi si trovavano prima di essere combinati insieme. Una volta che le perle sono state collegate insieme, sembrano formare una collana in virtù della loro natura. L'induzione ha dato loro un'unità che è ben lontana dal costarci uno sforzo per essere conservata; anzi, di solito dobbiamo fare uno sforzo di immaginazione per scioglierla. Per esempio, ci rappresentiamo abitualmente la Terra rotonda, la Terra e i pianeti orbitanti intorno al Sole, e attratti verso il Sole da una forza centrale, ed è solo con grande sforzo che riusciamo a cogliere quanta pena e quanto turbamento costò ai Greci, a Copernico e a Newton arrivare a punti di vista per noi così familiari. [...]

Abbiamo visto la ragione per cui il primo passo di cui abbiamo parlato, l'invenzione di una Concezione in ogni inferenza induttiva, è così generalmente trascurato che è stato a mala pena notato dai filosofi del passato. [...]

Le tendenze della nostra natura speculativa che ci spingono avanti nella ricerca di simmetria e di ordine, e producono così tutte le teorie vere, mostrano sempre il loro vigore esagerando il bersaglio. Ottengono qualcosa, mirando a molto di più. Rivelano l'ordine e la connessione che esiste concependo relazioni immaginarie di ordine e di connessione che non hanno esistenza. Le scoperte reali sono così mescolate con assunzioni infondate. Una profonda sagacia si combina con la congettura fantasiosa: e questo non accade solo di rado o in situazioni molto particolari, ma comunemente e nella stragrande maggioranza dei casi – probabilmente in tutti se noi potessimo leggere i pensieri degli scopritori con la medesima facilità con cui leggiamo l'opera di Keplero. Per la stragrande maggior parte degli individui tentare congetture sbagliate è l'unica via per giungere a quelle giuste. La caratteristica del vero filosofo non è quella per cui non fa mai congetture azzardate, ma quella per cui le sue congetture sono concepite in mo-

do chiaro e messe in rigido contatto con i fatti. Egli vede e paragona distintamente le idee e le cose — le relazioni delle sue nozioni l'una con l'altra e con i fenomeni. Sotto queste condizioni è non solo giustificato ma necessario che egli prenda in considerazione qualsiasi parvenza di regola generale per mettere alla prova tutte le forme promettenti di semplicità e di simmetria. X

Quindi, i progressi della conoscenza comunemente non vengono mai compiuti senza questo precedente esercizio di audacia e di libertà nel congetturare. La scoperta di nuove verità richiede indubbiamente spiriti attenti e scrupolosi nell'esaminare quanto suggerito; ma richiede altrettanto prontezza e fertilità nel proporre ipotesi. [...]

Ma se è un vantaggio per lo scopritore della verità essere ingenuo e fertile nell'inventare ipotesi che possano connettere i fenomeni della natura, è un suo indispensabile requisito che sia anche diligente e attento nel confrontare le ipotesi con i fatti, e che sia pronto ad abbandonare l'invenzione appena è evidente che non si accorda con il corso degli eventi reali. Questo continuo raffronto delle concezioni e supposizioni con i fatti osservati in tutti gli aspetti costituisce l'impegno maggiore dello scopritore. Questo onesto e semplice amore della verità, che lo rende persino desideroso di eliminare le più predilette produzioni della propria ingenuità non appena appaiono essere in contrasto con la realtà, costituisce la prima caratteristica del suo temperamento. [...] Il concepimento di un'ipotesi è per il ricercatore della verità non la fine, ma l'inizio dell'opera. Ognuno dei suoi sistemi è inventato, ma non perché egli lo contempi ammirato e lo segua in tutte le sue conseguenze coerenti, bensì perché egli possa farne l'occasione di una procedura di attiva sperimentazione e osservazione. E se i risultati di questo processo contraddicono i suoi assunti fondamentali, per quanto ingegnoso, simmetrico ed elegante possa essere il suo sistema, lo respinge senza esitazione. [...] Possiamo fare riferimento a quello che abbiamo già detto di Keplero, di Newton e di altri eminenti filosofi per illustrare questa tipologia. In Keplero abbiamo notato il coraggio e la perseveranza con cui egli intraprese ed eseguì il compito di sottoporre ai calcoli la sua stessa ipotesi. Ed è ancora più ammirevole in lui il fatto che egli non permise mai che la fatica che aveva speso su qualsiasi congettura motivasse una qualunque riluttanza ad abbandonare l'ipotesi una

volta che ne aveva constatato la palese inaccuratezza. E nella storia della scoperta di Newton che la Luna è mantenuta nella propria orbita dalla forza di gravità possiamo constatare la stessa moderazione nel conservare l'ipotesi una volta che è entrata nella mente dell'autore. L'ipotesi richiedeva che la Luna dovesse cadere dalla tangente della sua orbita per uno spazio di sedici piedi al secondo. Ma stando ai primi calcoli appariva piuttosto che essa cadeva soltanto di uno spazio di tredici piedi al secondo. Questo scarto può sembrare irrilevante, l'approssimazione incoraggiante, la teoria plausibile. Un uomo innamorato delle proprie fantasie avrebbe rapidamente scoperto o inventato qualche probabile causa per spiegare tale differenza. Ma Newton la prese come una refutazione [*disproof*] della sua congettura, e "lasciò da parte a quell'epoca qualsiasi ulteriore pensiero al riguardo". X

Spesso è però accaduto che quelli che hanno intrapreso l'istruzione dell'umanità non hanno posseduto questo puro amore della verità e la relativa indifferenza alla conservazione delle loro proprie invenzioni. Gli uomini hanno spesso aderito con grande tenacia, anzi con veemenza, alle ipotesi che avevano un tempo escogitato, e nella loro affezione per tali ipotesi sono stati fin troppo disponibili a trascurare, distorcere e fraintendere i fatti. [...] Molte cautele sono state formulate contro la fabbricazione di ipotesi da parte di coloro che professano l'insegnamento della filosofia, e molte negazioni di un tale corso da coloro che coltivano la scienza.

Così, troviamo che Bacone biasima di frequente tale abito mentale sotto il nome di "anticipazioni della mente", e Newton pensa che sia necessario proclamare infaticabilmente "hypotheses non fingo". È stato di continuo sottolineato che le induzioni con cui sono formate le scienze devono essere *cautae* e *rigorose*, e le varie fantasie che attraversarono la mente di Keplero e a cui egli ha dato espressione sono state biasimate e compaite come esempi deplorabili di un quadro mentale non filosofico. Eppure, nelle nostre precedenti osservazioni è risultato chiaro che le ipotesi usate correttamente sono degli aiuti e non dei pericoli per la scienza; che l'induzione scientifica non è un processo "cauto" e "rigoroso" nel senso di *astenersi da tali supposizioni*, bensì in quello di *non aderire a esse* finché non sono confermate dai fatti, e di cercare attentamente dai fatti conferma o confutazione. Caratteristica di Keplero non era l'essere particolarmente disposto alla costruzione di ipote-

si, ma il narrare con grande generosità e onestà il corso delle sue riflessioni, i suoi travagli e le sue intuizioni. Nella mente dei più, come si è detto, le supposizioni rivelatesi inammissibili, una volta respinte, sono ben presto dimenticate; e così la traccia di esse viene cancellata dal pensiero e solo l'ipotesi che ha avuto successo, conservava il proprio luogo nella nostra memoria. Ma in realtà molte altre transitorie supposizioni devono essere state fatte dagli scopritori: ipotesi che in seguito non sono state asserte come veri sistemi, ma sono state sostenute solo per qualche istante – "ipotesi tentative" come sono state chiamate. Ciascuna di queste ipotesi è seguita dal corrispondente insieme di osservazioni da cui deriva il suo potere di veicolo per la verità. L'ipotesi è come il capitano, e le osservazioni come i soldati di un esercito; mentre sembra che egli comandi loro e che in questo modo operi la sua propria volontà, di fatto deriva la sua forza, il suo potere di conquista, dall'obbedienza della truppa, e diventa inerme e senza scopo se questa si ammutina.

Dal momento che lo scopritore ha costantemente da tracciare la sua via attraverso ipotesi, false o vere che siano, è della massima importanza che possieda il talento e i mezzi per *controllare* [testing] ogni supposizione che gli si offre. In questa come in altre parti del processo di scoperta il successo in generale è dovuto alla ingegnosità originale e alla sagacia della mente dello scopritore. Eppure, sono state indicate da eminenti filosofi alcune regole che tendono a definire meglio l'obiettivo e ne possono venir suggerite forse anche delle altre. [...]

Una massima che può essere utile tener presente è la seguente: le ipotesi possono essere di servizio alla scienza anche quando esse presentano una certa porzione di incompletezza e pure di errore. Obiettivo di tali invenzioni è unire insieme fatti che senza di esse sarebbero scollegati e separati; e se tali supposizioni fanno questo, possono spianare la strada alla percezione della vera regola in forza della quale i fenomeni vengono associati insieme, anche se esse fraintendono in qualche misura la questione. Le disposizioni che abbiamo così immaginato ci permettono di contemplare come un tutto una collezione di casi specifici che rendono perplesse e imbarazzate le nostre menti quando sono considerati in mera successione; e se il nostro schema ha tanta verità in sé quanta è necessaria per congiungere quello che è realmente connesso, saremo allora in grado di correggere debitamente o limitare il meccan-

simo di questa connessione. Se la nostra ipotesi rende ragione dell'accordo di casi realmente simili, possiamo in seguito trovare che quella ragione sia falsa, ma saremmo allora capaci di tradurla nel linguaggio della verità.

Un esempio cospicuo di un'ipotesi del genere, un'ipotesi che è stata di grande portata per la storia della scienza, anche se assai incompleta, e come rappresentazione della natura del tutto falsa, si può trovare nella *dottrina degli epicicli* con cui gli astronomi antichi spiegavano il moto del Sole, della Luna e dei pianeti. Questa dottrina connetteva le posizioni e le velocità di quei corpi a tempi particolari in una maniera che era nei tratti generali accordabile con la natura. Eppure, questa dottrina era erronea là dove asseriva la natura circolare di tutti i moti celesti, nonché nel far ruotare i corpi celesti intorno alla Terra. Fu tuttavia di immenso valore per il progresso della scienza astronomica; infatti, permise alle persone di esprimere ed elaborare molte importanti verità che venivano scoperte via via circa il moto delle stelle, e ciò almeno fino al tempo di Keplero. [...]

Le ipotesi che accettiamo dovrebbero spiegare i fenomeni che abbiamo osservato. Ma esse dovrebbero fare anche qualcosa di più. Dovrebbero *predire* fenomeni che non sono stati ancora osservati, almeno tutti quelli dello stesso genere di quelli per spiegare i quali l'ipotesi è stata inventata. Infatti, il nostro assenso all'ipotesi implica che sia ritenuta vera per tutti gli esempi particolari. Che questi casi appartengano al passato o al futuro, che siano già occorsi o no non fa differenza alcuna nell'applicabilità della regola. [...]

Le dottrine scientifiche che nei vari periodi sono state via via stabilite sono state verificate [verified] in questo modo. Per esempio, la teoria degli epicicli in meccanica celeste venne confermata dal fatto che predicava in modo veridico le eclissi del Sole e della Luna, le configurazioni dei pianeti e altri fenomeni celesti. E fu confermata pure dal fatto che consentiva la costruzione di Tavole mediante le quali le posizioni dei corpi celesti erano date a ogni istante di tempo. La verità e la precisione di queste predizioni costituivano una prova [proof] che l'ipotesi era di valore e, almeno in una certa misura, vera – anche se, come fu trovato dopo, comprendeva una falsa rappresentazione della struttura dei cieli. [...]

Abbiamo fin qui parlato della *predizione di fatti dello stesso genere* di quelli da cui è stata ricavata la nostra regola. Ma l'evidenza

in favore della nostra induzione è molto più alta e ha un carattere ancor più vincolante quando ci mette in condizione di spiegare e di determinare casi di un *genere differente* rispetto a tutti quelli che erano contemplati nella formazione della nostra ipotesi. Gli esempi in cui questo è capitato, anzi, ci colpiscono con la convinzione che la verità della nostra ipotesi è certa. Nessun accidente potrebbe dare origine a una coincidenza così straordinaria. Nessuna falsa supposizione potrebbe, dopo essere stata aggiustata a una classe di fenomeni, rappresentare anche una classe differente quando l'accordo fosse imprevisto e non contemplato. [...]

Di conseguenza i casi, in cui induzioni da classi di fatti del tutto differenti sono così *salvate insieme* [*jumped together*], appartengono solo alle migliori teorie stabilite che mai contenga la storia della scienza. E quando avrò occasione di far riferimento a questa peculiare caratteristica della loro evidenza, mi prenderò la libertà di descriverla con una particolare locuzione: quella di *Consilience of Inductions*, ossia concordanza di induzioni.

È esemplificata soprattutto da certe grandi scoperte: così Newton trovò che la dottrina che l'attrazione del Sole vari secondo l'inverso del quadrato della distanza, che spiegava la terza legge di Keplero della proporzionalità dei cubi delle distanze ai quadrati dei periodi dei pianeti, spiegava anche la sua prima e seconda legge del moto ellittico di ciascun pianeta, benché nessuna connessione di queste leggi fosse visibile prima. E ancora si comprese che la forza della gravitazione universale, quando veniva calcolata dalle *perturbazioni* della Luna e dei pianeti dovute al Sole e a ciascuno di essi, spiegava pure il fatto apparentemente del tutto dissimile e remoto della *precessione degli equinozi*. Qui vi fu la coincidenza più impressionante e sorprendente che diede alla teoria il suggello della verità, oltre a qualsiasi potere di contraffazione dell'ingenuità. [...]

Non può venir indicato nell'intera storia della scienza alcun esempio, per quanto ne so io, in cui questa concordanza delle induzioni abbia testimoniato in favore di un'ipotesi che poi si è rivelata falsa. Se consideriamo una sola classe di fatti, conoscendo la legge che essi seguono, possiamo costruire un'ipotesi, o forse più di una, che li può rappresentare. E quando le nuove circostanze sono scoperte, possiamo spesso aggiustare l'ipotesi in modo che corrisponda anche a queste ultime. Ma quando l'ipotesi, di per sé e senza aggiustamento per lo scopo specifico, ci dà la regola e la

ragione di una classe di fatti non contemplata nella sua costruzione, abbiamo un criterio della sua realtà che finora non ha mai operato in favore di qualche falsità.

Nelle pagine precedenti ho parlato dell'ipotesi con cui paragoniamo i nostri fatti come se fosse costruita *tutta in una volta*, quasi che ciascuna delle sue parti fosse già nello schema originario. In realtà capita spesso che le diverse supposizioni che il nostro sistema contiene vengano *aggiunte* occasionalmente dai vari ricercatori. Così, nella dottrina tolemaica dei cieli nuovi epicili ed eccentrici erano aggiunti man mano che le ineguaglianze dei moti dei corpi celesti erano via via scoperte [...].

Poiché questa è la modalità in cui le teorie sono spesso strutturate, dobbiamo notare una distinzione che riscontriamo prevalere nel progresso delle teorie vere e false. Nella prima classe tutte le supposizioni addizionali *tendono alla semplicità* e all'armonia: le nuove supposizioni si risolvono in quelle vecchie o almeno esigono solo poche facili modificazioni delle ipotesi assunte inizialmente. Il sistema diventa più coerente man mano che si estende. Gli elementi di cui abbiamo bisogno per spiegare una nuova classe di fatti sono già contenuti nel nostro sistema. Le diverse componenti della teoria cooperano insieme, e abbiamo così una costante convergenza all'unità. Nelle teorie false, invece, le cose vanno al contrario. Le nuove supposizioni sono qualcosa del tutto addizionale, e non sono affatto suggerite dallo schema originario. Forse, sono addirittura difficili da riconciliare con tale schema. Allora, ognuna di tali aggiunte aumenta la complessità del sistema di ipotesi che alla fine diventa intrattabile, ed è costretto a cedere il posto a qualche spiegazione più semplice.

Un esempio di una siffatta teoria falsa è proprio l'antica teoria degli eccentrici e degli epicicli. Spiegava la successione generale delle posizioni del Sole, della Luna e dei pianeti; ma non sarebbe stata in grado di spiegare la proporzione delle loro magnitudini a tempi differenti, se la si fosse potuta accuratamente osservare; ma ciò era al di là della portata degli astronomi antichi. Quando, però, Tycho Brahe e altri astronomi si rivelarono in grado di osservare i pianeti accuratamente in tutte le loro posizioni, *non* venne trovata *alcuna* combinazione di moti circolari *equabili*, in grado di rappresentare in modo esatto tutte le osservazioni. Possiamo vedere nell'opera di Keplero le numerosissime nuove modi-

ficazioni dell'ipotesi degli epicicli che erano ormai a sua disposizione; alcune delle quali si sarebbero accordate con i fenomeni in un certo grado di esattezza, ma non così grande come quello che Keplero insisteva di ottenere – per la fortuna del progresso della scienza. E dopo che questi epicicli si erano così accumulati, scomparvero tutti, e lasciarono il posto alla più semplice concezione di un moto *ellittico*. Analogamente, la scoperta di nuove ineguaglianze nei moti della Luna ingombrò il sistema della Luna con sempre più nuovi macchinari che alla fine furono liquidati in un colpo in favore della teoria *ellittica*. [...]

E ancora, si poteva ammettere che il sistema cartesiano dei vortici spiegasse i fenomeni primari delle rivoluzioni dei pianeti intorno al Sole e dei satelliti intorno ai pianeti. Ma la forma ellittica delle orbite richiedeva nuove supposizioni. Bernoulli attribuì questa curva alla forma del pianeta che operava sulla corrente del vortice in una maniera simile al timone di una barca. Ma allora i moti degli afeli e i nodi – le perturbazioni – e persino l'azione della gravità per la Terra, non potevano essere spiegati senza supposizioni nuove e indipendenti. D'altra parte, la teoria della gravitazione era divenuta sempre più semplice man mano che i fatti da spiegare erano più numerosi. L'attrazione del Sole spiegava i moti dei pianeti; l'attrazione dei pianeti era la causa del moto dei satelliti. Ma una volta assunto questo, le perturbazioni, i moti dei nodi e gli afeli richiedevano come passo necessario di estendere l'attrazione del Sole ai satelliti e quella dei pianeti a ogni altro: le maree, la forma sferoidale della Terra, la precessione non richiedevano niente di più che la Luna e il Sole attraessero parti della Terra, e che queste parti si attraessero reciprocamente; sicché tutte le supposizioni si risolvevano in una sola, quella della gravitazione universale di tutta la materia. E difficile immaginare una manifestazione più convincente di semplicità e di unità.

Charles Robert Darwin

*Tra esperienza e immaginazione:
la teoria dell'evoluzione*

Il 3 giugno 1836, sulla via del ritorno dalla lunga spedizione del *Beagle* (1831-1836), Charles Robert Darwin (1809-1882) fece visita a Città del Capo, insieme con l'ineffabile capitano Robert FitzRoy, a John Herschel. Sir John fu "estremamente cordiale" e invitò a pranzo gli ospiti, che trovarono alcuni suoi modi alquanto bizzarri, "se non addirittura spaventosi". Tuttavia, passeggiando "in quel grazioso giardino pieno di bulbi del Capo", Herschel e Darwin ebbero occasione di scambiarsi le rispettive impressioni su un capolavoro scientifico che lì aveva entrambi affascinati, *The Principles of Geology* (1830-1833) di Charles Lyell (1797-1875). Herschel nutriva delle riserve perché Lyell non aveva saputo affrontare il "mistero dei misteri" costituito dalla comparsa di *nuove* specie vegetali e animali sulla Terra. Se l'ambiente terrestre cambia gradualmente in quanto modellato dalle forze che operano sul lungo periodo, non si dovrebbe forse interpretare allo stesso modo la vita? Darwin, in un primo tempo dedicato soprattutto alla geologia, ricorderà l'incontro come "il più memorabile evento" di quella fase della sua esistenza. E il 12 ottobre del 1844, da Down Bromley nel Kent, scrive all'amico Leonard Jenyns: "Ho letto e raccolto costantemente fatti sulla variazione delle piante e degli animali allo stato domestico e sulla questione delle specie: ho ora un vasto complesso di dati e credo di poter tirare alcune fondate conclusioni. La conclusione generale che sono lentamente indotto a trarre partendo da una convinzione totalmente opposta è che le specie possono mutare e che specie affini discendono da ceppi comuni. So bene fino a che punto mi espongo al biasimo per una simile conclusione, ma se non altro vi sono giunto onestamente e dopo accurata ponderazione". Quale miglior banco di prova della metodologia che Herschel aveva esposto nel *Discorso* e che tanto aveva entusiasmato il giovane Charles (vedi p. 20)? Peraltro, Herschel non risparmiò critiche alle idee darwiniane, tacciandole talvolta di "confusione".

Non è qui il caso di esporre l'iter che condusse Darwin alla teoria della "trasmutazione delle specie per selezione naturale" – egli peraltro non amava il termine "evoluzione", troppo legato alle idee sospette espresse a

suo tempo dal francese Jean-Baptiste de Monet de Lamarck (1744-1829). E nemmeno di sottolineare quale valore euristico abbia avuto in questo cammino la lettura dell'*Essay on Population* (1798) dell'economista inglese Thomas Robert Malthus (1766-1834). Certo è che ben prima di dare alle stampe le sue idee *On the Origin of Species* (1859), Darwin era rimasto fortemente impressionato dall'ampiezza della distruzione di popolazioni o addirittura di intere specie che la natura "di tanto in tanto" opera nel quadro della sua "economia". Le pagine qui riportate offrono un abbozzo della concezione dell'evoluzione che Darwin invia in allegato a una lettera del 5 settembre 1857 al grande Asa Gray (1810-1888). Nella missiva egli sottolinea come la sua credenza che "le specie siano realmente cambiate" sia confermata "da dati di fatto generali che si possono rilevare nelle affinità, nell'embriologia, negli organi rudimentali, nella storia geologica e nella distribuzione geografica degli esseri organici". La "sintesi" darwiniana, che troverà posto in opere come la già citata *Origine delle specie*, *The Descent of Man* (1871) e *The Expression of the Emotions* (1872), doveva ben presto costituire una sfida non solo per la comunità scientifica (si pensi, per esempio, alle obiezioni dei paleontologi sui cosiddetti "anelli mancanti" tra una specie e l'altra), ma per l'intera cultura del tempo (dall'opposizione ufficiale della Chiesa d'Inghilterra al disaccordo di un filosofo come Whewell che per ironia della sorte fornisce uno dei quadri epistemologici più adeguati per l'impresa darwiniana; per non dire del conservatorismo di chi, come per esempio Benedetto Croce, ebbe a dichiarare che con Darwin arrivava "la scimmietà", del resto, le resistenze al darwinismo sono tutt'altro che cadute, come testimonia l'opposizione dei fondamentalisti cristiani negli Stati Uniti e in altri paesi all'insegnamento delle dottrine evoluzionistiche perché "contrarie" alla lettera della Scrittura).

I successivi sviluppi della genetica, a partire da Gregor Mendel (1822-1884), hanno gettato luce su un punto fondamentale: le mutazioni casuali e la loro trasmissibilità alle generazioni future. La nascita di una biochimica e soprattutto di una biologia molecolare, il cui punto di svolta è rappresentato dall'individuazione della struttura a doppia elica del DNA per opera di James Dewey Watson e di Francis Harry Crick – in origine rispettivamente un biologo e un fisico –, consentono oggi una nuova sintesi nel cui quadro rientrano gli impressionanti successi delle cosiddette biotecnologie. È altrettanto noto come non pochi filosofi, da Friedrich Nietzsche (1844-1900) a Teilhard de Chardin (1881-1955), furono fortemente colpiti dalla rivoluzione darwiniana. Sotto il profilo della filosofia della scienza occorre sottolineare come si sia prodotta addirittura una vera e propria epistemologia evoluzionistica, la quale assimila il cambiamento concettuale nelle scienze alle stesse mutazioni genetiche. Il principale rappresentante di questo indirizzo nel Novecento è Donald Campbell. Più in generale, la sintesi darwiniana rappresenta una potente fonte di analogie anche per lo studio della *crecscita* della conoscenza, intesa come selezione delle teorie

sotto la pressione della *critica*. Per esempio, a Darwin fanno riferimento, sia pure in modo diverso, alla fine dell'Ottocento uomini come Charles Sanders Peirce ed Ernst Mach, e nella seconda metà del Novecento autori come Karl Popper e Thomas S. Kuhn. Ma che la storia culturale possa essere chiarita dalla stessa storia delle specie viventi era già stata un'intuizione degli intellettuali vicini a Darwin i quali amavano tracciare suggestivi paralleli tra gli organismi viventi e le lingue dell'umanità, sottolineando come i testi scritti avessero il medesimo ruolo che hanno in geologia le rocce o in paleontologia i fossili.

Le pagine che seguono sono tratte da C.R. Darwin, *Charles Robert Darwin's Letters. A Selection 1825-1859*, a cura di F. Burkhardt, prefazione di S.J. Gould, Cambridge University Press, Cambridge 1996; tr. it. di S. Stefani, *Lettere 1825-1859*, Raffaello Cortina, Milano 1999, pp. 244-247.

Di Darwin si vedano anche: *L'origine delle specie per selezione naturale*, tr. it. con introduzione di G. Montalenzi, Boringhieri, Torino 1967; *L'origine dell'uomo*, tr. it. a cura di B. Chiarelli, Rizzoli, Milano 1982; *L'espressione dei sentimenti nell'uomo e negli animali*, tr. it. a cura di G.A. Ferrari, Boringhieri, Torino 1982; *Viaggio di un naturalista intorno al mondo*, tr. it. a cura di L. Lamberini, Einaudi, Torino 1989; *Autobiografia*, Einaudi, Torino 1962.

Per approfondire: G. Bocchi e M. Ceruti, *Origini di storie*, Feltrinelli, Milano 1993; E. Boncinelli, *Le forme della vita*, Einaudi, Torino 2000; D.T. Campbell, *Epistemologia evoluzionistica*, tr. it. a cura di M. Stanzione, Armando, Roma 1981; M. Ceruti, *La danza che crea. Evoluzione e cognizioni nell'epistemologia genetica*, prefazione di F. Varela, Feltrinelli, Milano 1989; Id., *Evoluzione senza fondamenti*, Laterza, Roma-Bari 1995; B. Continenza et al., *Evoluzione e modelli*, Editori Riuniti, Roma 1984; P. Corsi, *Oltre il mito. Lamarck e le scienze naturali del suo tempo*, il Mulino, Bologna 1983; A. Desmond e J. Moore, *Darwin*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1993; J. Dewey, *The Influence of Darwin on Philosophy and Other Essays*, Holt and Co., New York 1910; N. Eldredge, *Ripensare Darwin. Il dibattito alla Tavola alla dell'evoluzione*, tr. it. Einaudi, Torino 1999; Id., *Le trame dell'evoluzione*, tr. it. a cura di T. Pievani, Raffaello Cortina, Milano 2002; N. Eldredge e I. Tattersall, *I miti dell'evoluzione umana*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1984; S.J. Gould, *Il pollice del panda: riflessioni sulla storia naturale*, tr. it. Anabasi, Milano 1994; F. Jacob, *La logica del vivente: storia dell'ereditarietà*, tr. it. Einaudi, Torino 1971; T.R. Malthus, *Primo saggio sulla popolazione*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1976; E. Mayr, *Le evoluzioni delle specie animali*, tr. it. Einaudi, Torino 1970; Id., *Storia del pensiero biologico*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1999; J.A. Moore, *Science as a Way of Knowing. The Foundations of Modern Biology*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) 1993; G. Pinna, *La natura paleontologica dell'evoluzione*, Einaudi, Torino 1995; J.D. Watson, *La doppia elica. trent'anni dopo*, tr. it. Garzanti, Milano 1982.

I. È prodigioso quel che può operare il principio di Selezione applicato dall'Uomo, vale a dire la scelta di individui con una qualsiasi qualità desiderata, e la creazione di razze e poi di nuova selezione. Persino gli allevatori sono rimasti stupefatti di fronte ai propri risultati. Possono agire su differenze che sfuggono a un occhio non competente. *In Europa* la selezione è stata applicata *metodicamente* solo nell'ultimo mezzo secolo. Ma essa è stata applicata sporadicamente, e persino in una certa misura metodicamente, anche nei tempi più antichi. Deve esserci stata, inoltre, una sorta di selezione inconscia fin dalle epoche più lontane, vale a dire nella preservazione degli animali individuali (indipendentemente dalla progenie) più utili a ogni razza umana nelle particolari circostanze in cui si trovava. La distruzione di varietà atipiche è una sorta di selezione. Sono convinto che la selezione intenzionale e occasionale sia stata la principale promotrice della formazione delle nostre razze domestiche. Ma comunque stiano le cose, il suo grande potere di modificazione è stato dimostrato incontestabilmente negli ultimi tempi. La selezione agisce soltanto attraverso l'accumulazione di variazioni lievi o di maggiore entità causate da condizioni esterne, o attraverso il semplice fatto che, con l'atto del generare, il figlio non è assolutamente simile al genitore. Con questa capacità di accumulare variazioni, l'uomo adatta gli esseri viventi ai suoi bisogni; fa in modo, *si potrebbe dire*, che la lana di una pecora sia adatta a fabbricare tappeti e un'altra a fare tessuti ecc.

II. Ora supponiamo che esista un essere il quale non giudichi in base alle semplici apparenze, ma possa studiare tutta l'organizzazione interna che mai è avvenuta per caso – e continui a selezionare per milioni di generazioni, seguendo un determinato fine, e dica quali sono i risultati che non può conseguire! In natura abbiamo qualche *lieve* variazione, talvolta di tutte le parti: e credo si possa dimostrare che un cambiamento delle condizioni dell'esistenza è la causa principale del fatto che il figlio non assomiglia esattamente ai genitori; in natura la geologia ci mostra quali cambiamenti sono avvenuti e stanno avvenendo. Possiamo spaziare in un tempo quasi illimitato: nessuno se non un geologo che lavori sul campo è in grado di apprezzarlo appieno: pensate all'era glaciale, per tutta la durata della quale sono esistite, come minimo, le stesse specie di molluschi; in quel periodo devono esserci state milioni e milioni di generazioni.

III. Io credo si possa dimostrare che sia all'opera un simile potere infallibile, ovvero la *Selezione Naturale* (il titolo del mio libro), che seleziona esclusivamente per il bene di ciascun essere organico. Il vecchio De Candolle, W. Herbert e Lyell nei loro scritti si sono espressi con decisione a favore della lotta per la vita, ma nemmeno loro con sufficiente decisione. Riflettete che ogni essere (persino l'elefante) si riproduce a una tale velocità che in pochi anni, o al massimo in qualche secolo o millennio, la superficie della Terra non basterebbe per ospitare la progenie di qualsiasi specie. Ho avuto difficoltà a tenere costantemente presente che l'aumento di ogni singola specie è tenuto a freno durante una certa parte della sua vita, o nel corso di una generazione che segue dopo un breve intervallo. Solo alcuni degli esemplari generati ogni anno possono vivere abbastanza da propagare la propria specie. Probabilmente è la più insignificante differenza che spesso determina chi sopravviverà e chi perirà.

IV. Ora prendere il caso di un territorio sottoposto a qualche cambiamento; quest'ultimo tendenzialmente farà sì che avvenga qualche leggera variazione nei suoi abitanti; con questo non credo che la maggior parte degli esseri muti in continuazione in misura sufficiente a far procedere l'evoluzione. Alcuni degli abitanti verranno sterminati e gli altri verranno esposti all'interazione con un diverso gruppo di abitanti, cosa che io credo più importante del semplice clima per la vita di ciascun essere. Considerando l'infinita varietà dei modi di cui dispongono gli esseri per procurarsi il cibo lottando con altri esseri, per sfuggire al pericolo in varie fasi della vita, per far sì che i loro semi o uova vengano disseminati ecc. ecc., non posso dubitare che durante milioni di generazioni gli individui di una specie nascano con qualche leggera variazione proficua per qualche parte della sua economia; essa avrà così una migliore possibilità di sopravvivere, propagando tale variazione, la quale a sua volta verrà lentamente accresciuta dall'azione cumulativa della selezione naturale; e la varietà così formata consisterà con la forma cui è imparentata, o più comunemente la sterminerà. In questo modo un essere organico come il picchio o il vischio potrà arrivare ad adattarsi a un certo numero di contingenze: la selezione naturale, che in tutte le parti della sua struttura accumula quelle leggere che gli sono in qualche modo utili, durante una qualsiasi parte della sua vita.

V. Ognuno solleverà obiezioni multiformi a questa teoria. Ma credo che gran parte di esse possano essere risolte in modo soddis-

sfacente. "Natura non facit saltum" risponde ad alcune di quelle più ovvie. La lentezza del cambiamento, e il fatto che solo pochi siano sottoposti al cambiamento in qualsiasi epoca risponde alle altre. L'estrema imperfezione delle nostre testimonianze geologiche risolve ulteriori quesiti.

VI. Un altro principio, che potrà essere definito il principio della divergenza, ha, io credo, una parte importante nell'origine delle specie. Lo stesso posto alimenterà più vita se occupato da forme molto diverse: lo vediamo nelle svariate forme generiche presenti in un metro quadrato di prato (ho contato 20 specie appartenenti a 18 generi), o nelle piante e negli insetti di qualsiasi isolotto uniforme, sul quale generi e famiglie sono numerosi quasi quanto le specie. Diventa più evidente negli animali superiori, di cui conosciamo meglio le abitudini. È stato dimostrato in via sperimentale, come è noto, che un appezzamento di terreno darà un raccolto più consistente se vi si faranno crescere diverse specie di erbe e non solo 2 o 3. Ora si potrebbe dire che ogni singolo essere organico, propagandosi così rapidamente, si sforzi al massimo per accrescere il numero della sua popolazione. Lo stesso accadrà con la progenie di qualsiasi specie dopo che si sarà suddivisa in varietà o sottospecie o vere specie. Dai fatti sopra descritti segue, io credo, che la progenie di ogni specie che sta subendo variazioni tenterà (ma solo pochi individui vi riusciranno) di impadronirsi del maggior numero possibile di luoghi e quanto più possibile diversi nell'economia della natura. Ogni nuova varietà o specie, una volta formata, prenderà in genere il posto dei genitori meno adattati e così li sterminerà. Io credo sia questa l'origine della classificazione e organizzazione di tutti gli esseri organici in ogni tempo. Essi sembrano creare sempre nuove ramificazioni, che si dividono e suddividono, come i rami di un albero che sorgono dallo stesso tronco; i rami vigorosi distruggono quelli più deboli; i rami morti e caduti rappresentano brutalmente i generi e le famiglie estinte. Questo abbozzo è estremamente imperfetto; ma in uno spazio così breve non potevo far di meglio. La vostra immaginazione dovrà colmare parecchie lacune. Senza qualche riflessione, sembrerà tutto assurdo; ma forse continuerà a sembrare tale anche dopo aver riflettuto. C[harles] D[arwin].

Dmitrij Ivanovič Mendeleev

*Fatti nuovi e controllo empirico:
elementi (chimici) e spiriti (disincarnati)*

"L'edificio della scienza esige non soltanto materiale, ma anche un progetto, un piano: cresce via via grazie al lavoro necessario tanto per ammassare dati, quanto per procedere alla costruzione servendosi di essi e per realizzare così il progetto. La percezione scientifica consiste per l'appunto in questo piano, e quindi caratterizza il tipo di edificio che si sta costruendo." Tale convinzione – unita al principio per cui "ogni legge naturale acquista particolare significato" allorché consente di "spiegare ciò che ancora non è stato spiegato", indicando "fenomeni prima di allora ignoti" (vedi quanto detto a proposito di Whewell, p. 45), e soprattutto di "avanzare previsioni empiricamente controllabili" – orienta la ricerca di Dmitrij Ivanovič Mendeleev (1834-1907), in particolare negli anni 1868-1871, che lo vedono impegnato nella stesura e rielaborazione dei *Principi di chimica* e che culminano con la formulazione della legge della periodicità (1871). Talento precoce, insoddisfatto al regime reazionario della Russia dell'epoca, Mendeleev è chiamato alla fine del 1865 dall'Università di San Pietroburgo, dove sarà tra i fondatori della Società fisico-chimica russa (1868). Nel marzo dell'anno seguente (il 17 febbraio, secondo il calendario allora in vigore in quel paese) compila una prima tabella ("Abbozzo di sistema degli elementi, basato sul loro peso atomico e sull'affinità chimica") di quello che diventerà il sistema periodico degli elementi, commentandola in una memoria ("Correlazione delle proprietà con il peso atomico degli elementi") in cui compare l'intuizione essenziale della teoria della periodicità. Pur non usando ancora questa terminologia, Mendeleev intuisce che "la grandezza del peso atomico definisce la natura dell'elemento, così come il peso della molecola determina le proprietà e molte delle reazioni di un corpo composto". Come si evince dalla Faraday Lecture ("The Periodic Law of the Chemical Elements") tenuta alla Chemical Society di Londra nel giugno 1889, tre sono le premesse che hanno contribuito a quella scoperta: 1) la precisazione del concetto di peso atomico, dovuta in larga misura all'opera di Stanislao Cannizzaro (1826-1910); 2) l'idea, confermata dai lavori, tra gli altri, di Josiah Par-

sons Cooke (1827-1894), John Hall Gladstone (1827-1902) e Leopold Gmelin (1788-1853), che "le relazioni tra i pesi atomici di elementi analoghi [sono] governate da qualche legge generale semplice"; III) l'accumulo di "nuove informazioni riguardo agli elementi rari, che rivelarono le loro molteplici relazioni sia con gli altri elementi sia tra loro". Tuttavia, non si è ancora penetrato il "segreto" della legge periodica. Per farlo, occorre "porre la questione al livello che le spetta", ossia pervenire a una classificazione unica degli elementi. Come un "abile giocatore di carte" Mendeleev dispone tutti gli elementi noti secondo l'ordine *crescente* dei rispettivi pesi atomici, inserendo un punto interrogativo (seguito dal presunto valore del peso atomico) negli spazi vuoti, che lasciano presagire il riferimento a elementi non ancora scoperti, e conclude: "gli elementi disposti secondo la grandezza dei loro pesi atomici mostrano chiaramente proprietà periodiche". Dell'aprile del 1871 è la memoria "Sistema naturale degli elementi", dove compare la locuzione "legge della periodicità", intesa come "dipendenza periodica dal peso atomico del variare delle proprietà degli elementi". Tre mesi più tardi Mendeleev pubblica "La legge della periodicità degli elementi chimici", dandone una formulazione definitiva ("Le proprietà degli elementi", e in conseguenza anche le proprietà dei corpi semplici e composti da loro formati, *si trovano in dipendenza periodica dal loro peso atomico*) e presentando quel sistema degli elementi che perlopiù corrisponde a quello ancor oggi in uso.

Come riconosce lo stesso Mendeleev, la legge periodica deve la sua formulazione a un metodo, quello delle "comparazioni", basato sul presupposto che "nulla può essere definito o determinato di per sé e a partire soltanto da se stesso". Si tratta di un principio di pregnante valenza euristica, in quanto impone di andare al di là di una mera descrizione dei fenomeni, avanzando ipotesi "creative", che in virtù della loro stessa natura sono sempre esposte al rischio di una smentita. Ma, osserva Mendeleev, è sempre "meglio attenersi a un'ipotesi, che col tempo può anche rivelarsi fallace, che fare a meno di qualunque ipotesi". D'altro canto, sono la natura predittiva della teoria e il suo aprire a fatti nuovi a garantire che l'ordine celato nella multiforme varietà dei fenomeni, è intuito dalla sagacia del chimico, abbia un fondamento *in re* e non si riduca a una costruzione arbitraria. Così, pur poggiando su "elementi immaginari" (gli elementi), la legge periodica, in virtù dei suoi riscontri empirici, ha "conseguenze autenticamente realistiche": "Qui si ripete in definitiva ciò che si verifica anche nell'ambito della geometria o della matematica in generale: un oggetto, per esempio un cerchio, un'ellisse o una serie di numeri, puramente astratto, che è però il risultato senza ombra di dubbio materiale e concreto di un lavoro su tali astrazioni, ottiene a un certo punto una conferma che non può essere messa in discussione dalle ricerche su fenomeni astronomici, meccanici e via di seguito. Proprio in questa combinazione dell'ideale-astratto con il reale-materiale bisogna cercare la spiega-

zione del fatto che il settore fisico-matematico delle conoscenze impegnava oggi le intelligenze più profonde e abbraccia campi e orizzonti sempre più ampi. Qui per la prima volta si realizza una piena convergenza, senza ombra di artificioso eclettismo, tra idealismo e materialismo, tra astratto e concreto, tra il generale di stampo monarchico e il particolare di stile democratico, [...] e tutto ciò che è avvenuto dimostra che proseguendo in questa direzione si riuscirà a ottenere un ulteriore sviluppo praticamente illimitato”.

Di questo gioco combinato di “astratto” e “concreto”, di audacia creativa e di rigore nel controllo (dove si intrecciano quelle che nella tradizione baconiana sono “induzione per eliminazione” e “induzione per enumerazione”, o in una prospettiva più articolata “falsificazione” e “concordanza di induzioni”), Mendeleev non darà prova solo nella sua ricerca chimica. Nominato presidente di una commissione incaricata ufficialmente (1874) di indagare sullo statuto scientifico dello “spiritismo” (si ricordi che all’epoca prestigiosi scienziati come William Crookes, 1832-1919, sostenevano la realtà dei cosiddetti fenomeni paranormali), senza negare l’interesse per tali fenomeni o insinuare che tutte le testimonianze siano frutto di frode o suggestione, Mendeleev rimprovera ai cultori di tali discipline di far leva su esperienze non riproducibili, sicché le loro teorie possono sempre sottrarsi all’eventualità dell’errore: qualunque smentita può essere elusa invocando circostanze particolari che giustificano perché un effetto predetto dalla teoria non si sia verificato in una certa situazione. Si ritrova così un caso esemplare del problema generale della demarcazione tra scienza e pseudoscienza, quello stesso che stava a cuore a Immanuel Kant (1724-1804) fin dalla sua polemica (1766) con Emanuel Swedenborg (1688-1772). Nonostante alla fine (25 aprile 1876) condannò lo spiritismo come “falsa concezione”, Mendeleev perorò il diritto anche per esso a cercare e raccogliere “consensi”, con toni che potrebbero ricordare quelli del Millard di *On Liberty*: “Se avessimo ridotto gli spiritisti al silenzio, non ne avremmo tratto un vantaggio comparabile allo sforzo dispiiegato. Occorre [...] dare al nuovo spazio e voce. E se mai accadrà che esso presenti contenuti contrari al buon senso e alla verità, la salda coesione ideale che qui in Russia collega scienza, letteratura e scuola costituirà un argine alla sua affermazione”. Ma sull’ottimismo circa la società russa Mendeleev doveva in seguito ricredersi come mostra la stessa vicenda delle sue dimissioni dall’Università (1890).

Le pagine che seguono sono tratte da D.I. Mendeleev, "Periodičeskaja zakonnost' himičeskikh elementov", in *Enciklopedičeskij slovar' Brokgauza i Efrona*, vol. XXIII, tomo XXIII, semiotomo 45, Sankt Petersburg 1898; tradotta a cura di S. Tagliagambe, "La legge della periodicità degli elementi chimici (1889)", in *Il sistema periodico degli elementi*, Teknos, Roma 1994, pp. 131-133.

Per approfondire: A. Di Meo, "Atomi e molecole fra storia, didattica, e teoria", in S. Cannizzaro, *La teoria atomica e molecolare*, a cura di A. Di Meo, Teknos, Roma 1994; J.I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*, tr. it. Mondadori, Milano 1976, pp. 264-299; S. Tagliagambe, Introduzione a D.I. Mendeleev, *Sullo spiritismo*, tr. it. Bolati Borighieri, Torino 1992, pp. VII-LXXXIV; E. Torraccia, "Il periodo della chimica classica", in A. Di Meo (a cura di), *Storia della chimica*, Marsilio, Venezia 1989.



Dopo le scoperte di Lavoisier i concetti di elemento chimico e di corpo semplice si sono rafforzati a tal punto che il loro studio è stato posto alla base di tutte le concezioni chimiche, e in seguito a ciò è penetrato anche in tutte le altre scienze della natura. Si dovette riconoscere che tutte le sostanze, accessibili allo studio, contenessero un numero assai limitato di elementi eterogenei sotto il profilo materiale, che non potevano trasformarsi l'uno nell'altro e che possedevano una sostanza indipendente ponderabile e che tutta la varietà della materia presente in natura è ottenuta esclusivamente attraverso la combinazione di questi pochi elementi e va fatta risalire alla differenza o di essi medesimi, o della loro quantità relativa o ancora, a parità di qualità e quantità degli elementi, alla diversità della loro reciproca posizione, della correlazione o della distribuzione dell'uno con l'altro. La denominazione di sostanze "semplici" doveva quindi essere riservata a quelle contenenti soltanto un elemento qualunque, mentre "composte" dovevano essere chiamate quelle che ne contenevano due o più. Per un determinato elemento possono tuttavia sussistere molte varietà di sostanze semplici, a esso corrispondenti, che dipendono dalla distribuzione ("struttura") delle sue parti o atomi, cioè da quella specie di isomeria, che si chiama "allotropia". Così il carbonio, come elemento, si trova nello stato di carbone, di grafite e di diamante, i quali (presi in forma pura) danno, se bruciati, lo stesso gas carbonico e nella medesima quantità. Nulla di analogo è noto per gli stessi "elementi". Essi non vanno soggetti a varietà e a trasformazioni reciproche e appaiono, stando almeno alle attuali risultanze, l'essenza immutabile di una sostanza che invece muta (sotto il profilo chimico, fisico e meccanico), essenza che entra a far parte sia

dei corpi semplici, sia di quelli composti. Questa concezione ci presenta gli elementi chimici come qualcosa di astratto, dato che noi non siamo in grado in particolare né di vederli, né di sapere alcunché relativamente a essi. A una simile posizione quasi idealistica una branca della conoscenza così realistica, come la chimica, è approdata sulla base dell'insieme delle osservazioni fino a questo momento effettuate, e anche se è lecito pensare che essa possa in futuro venire rimossa, se la si assume per quello che è, vale a dire come l'oggetto di una convinzione profondamente radicata, finora essa risulta del tutto in linea con le risultanze sperimentali e con l'osservazione. In questo senso il concetto di elemento chimico ha un fondamento solido e reale in tutta la scienza della natura, in quanto, per limitarci a un solo esempio, il carbonio mai, da nessuna parte, in nessun modo e in nessuna misura si è trasformato in un qualsiasi altro elemento, a differenza di una sostanza semplice come il carbone, che si è trasformata in grafite e diamante e, magari, un domani potrà altresì venire trasformata in una sostanza liquida o gassosa, nel caso che si riesca a trovare le condizioni per giungere a semplificare le sue complicatissime particelle. L'idea principale, con la quale si può giungere a spiegare la legge della periodicità, consiste proprio nella differenza radicale dei concetti di *elemento* e di sostanza semplice. Il carbonio è un elemento, è qualcosa di imm modificabile, che è contenuto sia nel carbonio, sia nell'anidride carbonica o nel gas illuminante, sia nel diamante, sia nella massa delle sostanze organiche mutevoli, sia nel calcare e nel legno. Non si tratta di un corpo concreto, quanto piuttosto di una sostanza ponderabile (materiale) con una somma di proprietà. Come nei vapori acquei o nella neve non c'è un corpo concreto, cioè l'acqua liquida, bensì la medesima sostanza ponderabile con la somma delle sue proprietà, che appartengono soltanto a questo specifico corpo, così in tutto ciò che vi è di carbonioso è contenuto il carbonio, omogeneo sotto il profilo materiale: non il carbone, ma proprio il carbonio. I corpi semplici sono sostanze, che contengono soltanto un elemento qualunque, e il concetto relativo a essi diventerà trasparente e chiaro quando saranno definitivamente accolte le idee, che attualmente si vanno rafforzando, relative agli atomi e alle particelle o molecole, di cui sono composte le sostanze omogenee. Al concetto di elemento corrisponde l'atomo, a quello di sostanza semplice la particella. Le sostanze semplici, co-

me tutti i corpi in natura, sono formati di particelle: tutta la loro differenza rispetto alle sostanze composte consiste unicamente nel fatto che le particelle di queste ultime contengono atomi eterogenei di due o più elementi, mentre quelle delle sostanze semplici soltanto atomi omogenei di un dato elemento. Tutto ciò che verrà esposto in seguito si riferisce appunto agli elementi, cioè, tanto per fare degli esempi, al carbonio, all'idrogeno, all'ossigeno, come parti componenti dello zucchero, del legno, dell'acqua, del carbone, dell'anidride carbonica, dell'ozono e via di seguito, e non alle sostanze semplici, formate da questi elementi. Ne nasce, ovviamente, la questione seguente: come si può rinvenire una qualsiasi regolarità reale in rapporto a oggetti, quali gli elementi, che esistono soltanto quali rappresentazioni dei chimici odierni, e che cosa di realmente esistente, di realizzabile praticamente, ci si può attendere, come conseguenza dell'indagine su simili entità astratte? La realtà effettuale risponde a simili domande con la dovuta chiarezza: le astrazioni, se sono corrette (se cioè contengono elementi di verità) e corrispondono alla realtà, possono fungere da oggetto della ricerca esattamente allo stesso titolo delle entità concrete e puramente materiali. E così gli elementi chimici, pur essendo delle astrazioni, vanno soggetti a un'indagine che non differisce minimamente da quella diretta verso le sostanze semplici o complesse, che possono essere riscaldate, pesate e in generale sottoposte all'osservazione diretta. L'essenza della questione sta qui nel fatto che negli elementi chimici, sulla base dello studio sperimentale delle sostanze semplici e composte, da essi formate, si scoprono proprietà individuali e tratti caratteristici, il cui insieme costituisce, per parte sua, un ulteriore oggetto di studio.

Heinrich Rudolf Hertz

La sottodeterminazione delle teorie rispetto all'esperienza

“La mia Introduzione è finita. La maggior parte del manoscritto va oggi in tipografia; solo una piccola parte necessita di un'ultima revisione. Mi sono riservato il diritto di emendare il libro tra dodici anni.” Così scrive, in un appunto del 3 dicembre 1893, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), il fisico tedesco celebre per aver dimostrato (1887) l'esistenza delle onde elettromagnetiche (dette *hertziane* dal suo nome) previste da James Clerk Maxwell (1831-1879) (e della grande sintesi operata dal geniale fisico scozzese ebbe a dire: “la teoria di Maxwell altro non è che il sistema delle equazioni di Maxwell”). Di lì a poco (1° gennaio 1894) doveva soccombere alla malattia che l'aveva colpito da tempo, lasciando incompiuta l'opera alla cui redazione si era dedicato dal 1890, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*. Nelle parole di Ernst Mach: “qui Hertz definisce concetti primari, come quelli di tempo, di spazio e di massa ed elimina quello di forza, allo scopo di introdurre nelle formule solo ciò che è realmente *osservabile*”. Come noterà (1949) Albert Einstein, Hertz era disturbato dalla “divisione di energia in due tipi sostanzialmente diversi, energia cinetica ed energia potenziale”, e la considerava talmente artificiosa da pensare che l'energia potenziale di qualsiasi sistema meccanico fosse dovuta ai “moti nascosti” di grandezze “ignorabili”, cioè a variabili che nella funzione di Lagrange non sono presenti, mentre è presente la loro velocità. La loro eliminazione dalla lagrangiana produce un’“apparente energia” potenziale. Se questo si potesse dire di *qualsiasi* energia potenziale, tale concetto potrebbe essere ridotto a “moti nascosti”, eliminando conseguentemente anche la nozione di forza che dipende da quella di energia.

Dunque, ritornando alle considerazioni di Mach, come nella meccanica newtoniana, anche per Hertz “masse libere si muovono di moto rettilineo uniforme. Ma egli ascrive ogni deviazione del moto di una massa dal moto rettilineo uniforme [...] non a una *forza*, ma a un *vincolo* rigido con altre masse”, riprendendo un'intuizione di Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Dove, però, “queste masse non sono percepibili, Hertz immagina

[appunto] *masse nascoste con moti nascosti*". Tuttavia, per quanto "bella", la "costruzione logica" hertziana è ben lungi dall'essere soddisfacente, anche se Mach è disposto a riconoscere che – là dove Hertz ammette che "svariate immagini sono possibili per gli stessi oggetti" e che un criterio per scegliere è privilegiare tra più immagini "di equivalente intelligibilità" quella che "accanto alle caratteristiche essenziali contiene il minor numero di relazioni superflue o vuote" – egli non fa altro che dar voce a un'esigenza che "coincide" con quella della "nostra economia".

Per Mach, che si parli di forze o di vincoli, come vogliono rispettivamente la tradizionale impostazione newtoniana e la via scelta invece da Hertz, "la dipendenza reale del moto delle masse per ogni conformazione istantanea del sistema è espressa da equazioni differenziali fra le coordinate delle masse", sicché se Hertz fosse coerente con la sua impostazione di fondo (quale, per esempio, traspare dal giudizio sulla teoria di Maxwell), dovrebbe convenire che "*il fatto essenziale* stabilito dall'esperienza è proprio l'esistenza di queste equazioni". Peraltro, "con la sincerità che egli era propria", lo stesso Hertz aveva riconosciuto il problema. Egli toccava sin dalle pagine introduttive del *Principi* la questione che oggi conosciamo sotto la locuzione "sottodeterminazione teorica rispetto all'esperienza": "per quanto chiare possano essere le immagini che vogliamo formarci delle cose, esse non sono determinate univocamente dalla richiesta che le conseguenze delle immagini siano a loro volta le immagini delle conseguenze". E, come ha osservato Ian Hacking nel suo *Conoscere e sperimentare*, se i differenti modi di presentare la meccanica "funzionano bene, quale più in un punto quale più in un altro, [...] qual è allora la verità sul moto dei corpi? Hertz induce la generazione successiva dei positivisti, nella quale è incluso Pierre Duhem, a ritenere che non esista una verità in proposito – esistono soltanto migliori o peggiori sistemi di rappresentazioni".

Le pagine che seguono sono tratte da H.R. Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*, Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1894; tr. it. a cura di G. Gottardi, *I principi della meccanica presentata in connessione nuova*, La Goliardica Pavese, Pavia 1995, pp. 1-2.

Per approfondire: D. Baird et al. (a cura di), *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Kluwer, Dordrecht 1998; G. Boniolo, *Metodo e rappresentazioni del mondo*, Bruno Mondadori, Milano 1999; S. D'Agostino, "Boltzmann and Hertz on the Bild-Conception of Physical Theory", in *History of Science*, 28 (1990), pp. 381-395; A. Fölsing, *Heinrich Hertz. Eine Biographie*, Hoffman und Campe, Hamburg 1977; I. Hacking, *Conoscere e sperimentare*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1987, pp. 169-172; C. Lanczos, *The Variational Principles of Mechanics*, University of Toronto Press, Toronto 1966³, pp. 130-132.

Compito primario della nostra conoscenza consapevole della natura, e in un certo senso anche il più importante, è il metterci in grado di prevedere le esperienze future, onde poter regolare, in base a tale previsione, il nostro attuale comportamento. Come presupposto per la soluzione di questo compito della conoscenza utilizziamo in ogni caso le esperienze passate, acquisite da osservazioni casuali, oppure da esperimenti preordinati. Ma il metodo di cui sempre ci serviamo per la derivazione del futuro dal passato, e per il conseguimento della previsione da noi ambita, è il seguente: noi ci formiamo immagini interne, o simboli, degli oggetti esterni; e, precisamente, operando in maniera tale che le conseguenze, necessarie secondo ragione, delle immagini siano comunque, a loro volta, immagini delle conseguenze, necessarie secondo natura, degli oggetti rappresentati. Affinché tale richiesta risulti soddisfatta in generale, devono sussistere corrispondenze determinate tra la natura e il nostro intelletto. L'esperienza ci insegna che tale richiesta è soddisfatta; e, inoltre, che dette corrispondenze di fatto sussistono. Se ci è già riuscito di dedurre dall'esperienza accumulata immagini con la caratteristica richiesta, possiamo in breve tempo sviluppare, per mezzo di tali immagini, considerate come modelli, le conseguenze che precedentemente, nel mondo esterno, risultavano presentarsi in tempi più lunghi; ovvero, come conseguenze del nostro specifico intervento: siamo così in grado di anticipare i fatti e possiamo indirizzare le nostre decisioni presenti sulla base del discernimento ottenuto. Le immagini di cui parliamo sono le nostre rappresentazioni delle cose; esse si ricordano alle cose attraverso la sola, essenziale caratteristica di soddisfare alla suddetta richiesta; ma senza la necessità che, onde assolvere alla loro funzione, a esse si ricordino mediante una qualche ulteriore caratteristica. Di fatto, noi non sappiamo, né disponiamo di alcun metodo per giungere a sapere, se le nostre rappresentazioni delle cose si conformino a queste in qualche ulteriore modo, all'infuori di quest' unica, fondamentale relazione.

Per quanto chiare possano essere le immagini che vogliamo formarci delle cose, esse non sono determinate univocamente dalla richiesta che le conseguenze delle immagini siano a loro volta le immagini delle conseguenze. Svariate immagini sono possibili per gli stessi oggetti; e tali immagini possono differenziarsi secondo varie modalità. Fin d'ora abbiamo il dovere di denotare come inammissi-

sibili quelle immagini che già recano in sé una contraddizione rispetto alle leggi del nostro pensiero; e, conseguentemente, richiediamo che tutte le nostre immagini siano logicamente ammissibili o, brevemente, ammissibili [*zulässig*]. Definiamo inoltre come non corrette immagini ammissibili le cui relazioni fondamentali contraddicano le relazioni cui obbediscono le cose esterne; qualora cioè non soddisfino alla nostra prima, fondamentale richiesta. In conformità a ciò, noi richiediamo in secondo luogo che le nostre immagini siano corrette [*richtig*]. Ma due immagini ammissibili e corrette degli stessi oggetti esterni possono ulteriormente differenziarsi per quanto concerne l'appropriatezza. Di due immagini dello stesso oggetto risulterà più appropriata [*zweckmässig*] quella che maggiormente rispecchia le relazioni fondamentali dell'oggetto; con ciò vogliamo intendere: quell'immagine che risulta maggiormente intelligibile. Di due immagini di equivalente intelligibilità risulterà maggiormente appropriata quella che, accanto alle caratteristiche essenziali, contiene il minor numero di relazioni superflue o vuote; ovvero, quella che risulta più semplice. Le relazioni vuote non si lasciano eliminare completamente, dal momento che esse coinvolgono le immagini in quanto tali, e invero in quanto immagini del nostro peculiare intelletto, dovendo quindi necessariamente risultare determinate dalle proprietà delle sue modalità di rappresentazione.

Abbiamo fin qui enumerato le richieste che noi apponiamo alle immagini; di tutt'altra natura sono le richieste che noi apponiamo a un'esposizione scientifica di tali immagini. Per quest'ultima, noi richiediamo che ci conduca in maniera chiara a discernere quali proprietà risultino attribuite alle immagini in ragione della richiesta di ammissibilità, quali in ragione della richiesta di correttezza e quali in ragione della richiesta di appropriatezza. Solo così possiamo acquisire la possibilità di modificare le nostre immagini al fine di migliorarle. Ciò che viene attribuito alle immagini in virtù della richiesta di appropriatezza è contenuto nelle nozioni, nelle definizioni, nelle abbreviazioni; in breve, in tutto ciò che ad arbitrio possiamo aggiungere o togliere. Ciò che la richiesta di correttezza attribuisce alle immagini è contenuto nell'evidenza empirica della quale ci siamo serviti per la costruzione delle immagini stesse. Ciò che si attribuisce alle immagini, ai fini della loro ammissibilità, è dovuto alle caratteristiche del nostro intellet-

to. In merito alla questione dell'ammissibilità o meno di un'immagine, è possibile decidere in maniera univoca in senso affermativo o negativo; e, invero, con validità extratemporale della nostra decisione. In merito alla questione della correttezza o meno di un'immagine è parimenti possibile decidere in maniera univoca in senso affermativo o negativo; ma solo in ragione dello stato della nostra esperienza presente, condizionatamente all'accettazione del riferimento a ulteriore e più matura esperienza. In merito alla questione dell'appropriatezza o meno di un'immagine non si dà generalmente alcuna decisione univoca, potendo sussistere una varietà di opinioni. Una determinata immagine può offrire vantaggi da un certo punto di vista, un'altra da un altro; e solo attraverso graduali controlli di molte immagini vengono infine individuate, nel corso del tempo, quelle più appropriate.

Questi sono i punti di vista in rapporto ai quali, mi sembra, si deve giudicare il valore delle teorie fisiche e il valore delle rappresentazioni delle teorie fisiche. A ogni modo, questi sono i punti di vista dai quali noi ora vogliamo considerare le rappresentazioni che si sono date dei principi della meccanica. Oltre a ciò, è certamente necessario spiegare esattamente, innanzi tutto, che cosa denotiamo con questo termine.

In senso stretto, si concepiva originariamente in meccanica come "principio" ogni affermazione che non veniva a sua volta ricondotta ad altre proposizioni della meccanica, volendosi piuttosto riguardarla come risultato immediato di altre fonti della conoscenza. Nel corso dello sviluppo storico, non si poté evitare che proposizioni che un tempo, sotto particolari ipotesi, risultavano correttamente indicate come principi, mantenessero successivamente, senza più ragione, tale denominazione. Dei tempi di Lagrange è l'osservazione, spesso rimarcata, che il principio del baricentro e quello delle aree non sono fondamentalmente altro che teoremi di natura generale. Si può però osservare, con uguale ragione, come altri cosiddetti principi, reciprocamente non indipendenti, possano rispondere a tale denominazione, dovendo invece ciascuno di essi discendere al rango di conseguenza, o di teorema, non appena la rappresentazione della meccanica venga fondata su uno o più dei rimanenti. Ne segue la definizione non puntuale del concetto di "principio della meccanica". Per questo, non vogliamo lasciare a tali proposizioni la denominazione cor-

rente in sede di riferimento individuale; quando parliamo in senso generale e semplicemente di “principi della meccanica”, non vogliamo intendere tali singole, concrete proposizioni, bensì qualsiasi proposizione scelta tra quelle, ovvero tra altre a esse simili, che soddisfano alla condizione di pura deducibilità dell'intera meccanica sulla relativa base, senza ulteriore richiamo all'esperienza. Con tale modalità di designazione i concetti fondamentali della meccanica, unitamente ai principi che li connettono tra loro, rappresentano l'immagine più semplice che la fisica sia in grado di produrre delle cose del mondo sensibile e dei relativi fenomeni. E poiché possiamo produrre varie rappresentazioni dei principi della meccanica, per scelta differente delle proposizioni che poniamo a suo fondamento, otteniamo così differenti immagini consimili delle cose; immagini che possiamo mettere alla prova, comparandole mutuamente in merito alla loro ammissibilità, alla loro correttezza e alla loro appropriatezza.

Charles Sanders Peirce

Fallibilismo e spirito della scienza

“Fra le definizioni degli scopi della scienza che ho incontrato, parecchie le attribuiscono il compito di accertare che date cose stiano in un certo modo, per confermare conclusioni prestabilite. Ma nulla potrebbe essere più contrario allo spirito della scienza. La scienza cerca di scoprire tutto quanto vi possa essere di vero. [...] Ogni verità che ci risparmierebbe di essere sorpresi da un fatto percettivo futuro, che ci fornirà i mezzi per prevederlo, o i mezzi per prevedere condizionalmente che cosa percepirebbe qualcuno che fosse nella situazione di percipirlo: questo, al di là di ogni dubbio, è ciò che la scienza prende in considerazione.” Charles Sanders Peirce (1839-1914) avvia così l'analisi della “procedura propriamente scientifica” in un saggio presentato al meeting della National Academy of Sciences di Philadelphia nel novembre del 1901. Deciso a fare i conti con la “distorta” logica della maggioranza dei filologi (soprattutto quelli di lingua tedesca), e volendo saggiare anche sul terreno della storia la portata della “vera” logica scientifica (da qui il titolo dell'intervento, “On the Logic of Drawing History from Ancient Documents Especially from Testimonies”), Peirce riprende che lo avevano occupato fin dai primi lavori, dando loro nuova sistemazione. Iniziato fin da piccolo ai segreti della matematica dal padre Benjamin (1809-1880), insigne professore dell'Università di Harvard, Peirce era capace a dodici anni di padroneggiare gli strumenti del proprio laboratorio chimico e a quattordici di disettare di logica, oltre che di recitare interi brani della *Critica della ragion pura*. Egli sapeva combinare un'intensa e originale attività di ricerca scientifica – dall'astronomia osservativa alla fisica teorica, dalla chimica alla psicologia – con un'altrettanto intensa e forse ancor più originale meditazione filosofica – dai lavori di logica formale ispirati alle idee di George Boole (1815-1864) alle discussioni del “Metaphysical Club” di Cambridge (Mass.) con William James (1842-1910) e Chauncey Wright (1830-1875) che saranno all'origine del pragmatismo, dagli studi di semiotica alle riflessioni sulle implicazioni della teoria darwiniana dell'evoluzione, dalle polemiche sulla religione alle discussioni sulla storia napoleonica –, come testimonianza la messe quasi sterminata

di scritti che ci sono rimasti e che solo parzialmente sono stati pubblicati. Ed è il contatto diretto con la pratica scientifica a spingere Peirce a rifiutare l'immagine "ingenua" di una scienza dedita alla mera registrazione di fatti e alla loro generalizzazione in leggi, a favore di un'analisi logica delle procedure effettivamente adottate nella ricerca capace di rivelarne i differenti momenti. Contro il primato generalmente accordato all'induzione, egli rivendica il ruolo decisivo di quell'inferenza, l'*abduzione*, che consiste nell'adozione "un'ipotesi in quanto suggerita dai fatti". Se lo scopo dell'indagine è spiegare "fatti contrari a ciò che ci saremmo aspettati", allora essa può muovere soltanto dalla formulazione di un'ipotesi "che sia in sé verosimile e tenda verosimili [quei] fatti". Ma l'ipotesi deve essere tale che sia possibile trarne ulteriori conseguenze sperimentali. All'abduzione deve quindi seguire la *deduzione*, e solo in seguito può entrare in scena l'*induzione*: "avendo tratto per deduzione da un'ipotesi le predizioni dei risultati di un esperimento, procediamo a controllare l'ipotesi eseguendo l'esperimento e confrontando quelle predizioni con i risultati effettivi di esso. [...]" Quando infine vediamo che un'ipotesi viene confermata sperimentalmente, predizione dopo predizione, [...] senza alcuna modifica o con modifiche puramente quantitative, allora cominciamo ad accordarle dignità tra i risultati scientifici. Questo tipo di inferenza da esperimenti provanti le predizioni basate su un'ipotesi è l'unico che a buon diritto può essere definito *induzione*". È la capacità di rischiare un'ipotesi, di scommettere su una possibile spiegazione, il vero motore della ricerca. Non l'induzione, che in quanto tale "non può mai dare luogo a una nuova idea. E neppure la deduzione. Tutte le idee della scienza vengono alla scienza attraverso la via dell'Abduzione. L'abduzione consiste nello studio dei fatti e nell'escogitazione di una teoria per spiegarli". Occorre dunque saper distinguere i due momenti, poiché nulla vi è di più erroneo nella "logica della scienza" che la loro confusione. "Abduzione e induzione hanno certo in comune questa caratteristica: che entrambe portano ad accettare un'ipotesi in quanto i fatti osservati siano come risulterebbero necessariamente o probabilmente quali conseguenze di quell'ipotesi. Ma proprio per questo sono ai poli opposti della ragione [...]. L'abduzione parte dai fatti, senza all'inizio avere di mira una particolare teoria, benché motivata dall'impressione che ci voglia una teoria per spiegare i fatti sorprendenti. L'induzione parte da un'ipotesi promettente, senza all'inizio avere di mira fatti particolari, benché si avverta la necessità di fatti per sostenere la teoria." Compresa come "studio delle ipotesi" capace di suggerire "gli esperimenti che mettono in luce quegli stessi fatti che l'ipotesi aveva costruito", l'induzione rivela il senso autenticamente *fallibile e rivedibile* della scienza, e più in generale della conoscenza. A patto però di non ricadere nell'"errore" di Mill, ossia di pretendere una giustificazione in nome di una dogmaticamente assunta uniformità della natura. "L'induzione non è giustificata da alcuna relazione tra i fatti stabiliti nelle premesse e i fatti stabiliti nella conclusione, e non

inferisce né che questi ultimi sono necessari né che sono oggettivamente probabili. La giustificazione della sua conclusione è che essa è stata ottenuta con un metodo che, validamente perseguito, deve a lungo andare portare alla verità." Non c'è altra garanzia per l'induzione se non che essa tenda alla verità proprio in virtù di quella autocorrettività che fa dell'intera conoscenza un'impresa per natura fallibile.

Le pagine che seguono sono tratte da C.S. Peirce, "Fallibilism, Continuity and Evolution", in *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, voll. I-VI, a cura di C. Hartshorne e P. Weiss, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) 1931-1935, vol. I, pp. 58-63, 65-66, 71-72.

Di Peirce si vedano anche: *Caso, amore e logica*, tr. it. Taylor, Torino 1956, *Scritti di Filosofia*, tr. it. Cappelli, Bologna 1978; *Semiotica*, tr. it. a cura di M.A. Bonfantini, L. Grassi e R. Grazia, Einaudi, Torino 1980; *Scritti di logica*, a cura di C. Hartshorne e P. Weiss, tr. it. con introduzione di C. Mangione e cura di A. Monti, La Nuova Italia, Firenze 1981; *Le leggi dell'ipotesi*, tr. it. a cura di M.A. Bonfantini, R. Grazia e G. Proni, Bompiani, Milano 1984; *La logica degli eventi*, tr. it. a cura di R. Fabbrichesi Leo, Spirali, Milano 1989; *Categorie*, tr. it. a cura di R. Fabbrichesi Leo, Laterza, Roma-Bari 1992; C.S. Peirce e W. James, *Che cos'è il pragmatismo*, tr. it. a cura di F. Viemercati, con una presentazione di C. Simi, Jaca Book, Milano 1999.

Per approfondire: D. Antiseri, "Fallibilismo e falsificazione in C.S. Peirce", in *Sapienza*, 41 (1988), pp. 207-209; C. Eisele (a cura di), *Historical Perspectives on Peirce's Logic of Science*, 2 voll., Mouton, Berlin-New York-Amsterdam 1985; R. Fabbrichesi Leo, *Introduzione a Peirce*, Laterza, Roma-Bari 1993; A.O. Lovejoy, "A Note on Peirce's Evolutionism", in *The Journal of the History of Ideas*, 7 (1948), pp. 351-354; S. Marietti, *Icona e diagramma. Il segno matematico in C.S. Peirce*, LED, Milano 2001; G. Proni, *Introduzione a Peirce*, Bompiani, Milano 1990; C. Simi, *Il pragmatismo americano*, Laterza, Bari 1972; R. Tursman, *Peirce's Theory of Scientific Discovery*, Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis 1987.



Tutto il ragionamento positivo consiste per natura nel giudicare la proporzione di qualcosa all'interno di un'intera collezione per mezzo della proporzione trovata in un campione. Di conseguenza, vi sono tre cose che non possiamo mai sperare di raggiungere con il ragionamento, ovvero la certezza assoluta, l'esattezza assoluta, l'universalità assoluta. Non possiamo essere assolutamente certi che le nostre conclusioni siano anche approssimativamente vere,

in quanto il campione potrebbe essere completamente diverso dal resto della collezione. Non possiamo pretendere di essere neppure probabilmente esatti, in quanto il campione non consiste che di un numero finito di esempi e ammette soltanto valori particolari della proporzione cercata. Infine, anche se potessimo stabilire con certezza ed esattezza assolute che il rapporto tra gli uomini peccatori e tutti gli uomini è di 1 a 1, resterebbe ancora spazio, tra le generazioni infinite degli uomini, per un qualche numero finito di uomini senza peccato, senza per questo violare la proporzione. [...]

Ora, se l'esattezza, la certezza e l'universalità non possono essere raggiunte con il ragionamento, non vi sono certo altri mezzi con cui raggiungerle.

Qualcuno suggerirà *la rivelazione*. Vi sono scienziati e persone influenzate dalla scienza che ridono della rivelazione; e certo la scienza ci ha insegnato a considerare la testimonianza in una luce tale da far sembrare piuttosto debole l'intera dottrina teologica delle "Evidenze". Tuttavia, non ritengo filosofico rifiutare la possibilità di una rivelazione. Eppure, ciò concesso, come logico dichiaro che le verità rivelate – ovvero le verità che non hanno nulla a proprio favore se non le rivelazioni fatte a pochi individui – costituiscono di gran lunga la classe di verità più incerta che vi sia. Qui non è in questione l'universalità, dato che la rivelazione è in se stessa sporadica e miracolosa. E neppure l'esattezza matematica, dal momento che la rivelazione non avanza una simile pretesa. Essa pretende, però, di essere *certa*; e contro di ciò abbiamo tre obiezioni definitive. Primo, non possiamo essere assolutamente certi che una qualsiasi asserzione data sia davvero ispirata, poiché questo può essere stabilito solo con il ragionamento. Non possiamo provarlo neppure con un grado molto alto di probabilità. Secondo, anche se fosse ispirata, non potremmo essere sicuri, o quasi sicuri, che l'asserzione sia vera. Sappiamo che in un'edizione della Bibbia uno dei comandamenti è stato stampato omettendo il *non*. Tutte le cose ispirate sono state soggette alle distorsioni o alle coloriture umane. Inoltre, non possiamo penetrare nei disegni dell'Altissimo, o abbozzare un qualche principio che governi la sua condotta. Non conosciamo i suoi imperscrutabili scopi, né possiamo comprendere i suoi progetti. Non possiamo dire se Egli non trovi appropriato ispirare i suoi servi con degli errori. In terzo luogo, una verità che si fonda sull'autorità della sola ispirazione è per natura

alquanto incomprensibile; e non possiamo mai essere sicuri di capirla bene. Poiché non c'è modo di evadere queste difficoltà, sostengo che la rivelazione, lungi dal concederci una qualche certezza, dà risultati meno certi di altre fonti di informazione. E sarebbe così anche se la rivelazione fosse molto più semplice di quanto è.

Ma, si dirà, hai dimenticato le leggi che ci sono rese note *a priori*, gli assiomi della *geometria*, i principi della *logica*, le massime della *causalità*, e cose del genere. Queste sono assolutamente certe, senza eccezioni ed esatte. A ciò replico che mi sembra che vi sia la dimostrazione storica più positiva che le idee innate sono particolarmente incerte e mescolate all'errore; e quindi, *a fortiori*, non senza eccezioni. Questa dimostrazione storica non è ovviamente infallibile, ma è molto forte. E quindi vi chiedo: *come fate a sapere* che la verità *a priori* è certa, senza eccezioni ed esatta? Non potete saperlo tramite il *ragionamento*. Eppo, infatti, sarebbe soggetto a incertezza e inesattezza. Non resta allora che questo: lo sapete *a priori*; ovvero, prendete i giudizi *a priori* al loro valore nominale, senza esercitare alcuna critica o richiedere alcuna credenziale. Ciò vuol dire chiudere la porta dell'indagine.

Ah! Ma mi si dirà, tu dimentichi l'esperienza diretta. Questa non è né certa né incerta, poiché non afferma nulla – semplicemente è. Vi sono illusioni, allucinazioni e sogni. Ma non c'è da sbagliarsi: tali cose appaiono davvero, e l'esperienza diretta si riferisce unicamente all'apparenza. Non implica alcun errore, perché non testimonianza nulla se non la sua stessa apparenza. Per la stessa ragione non concede alcuna certezza. Non è *esatta*, perché lascia molto nel vago; ma non è neanche *inesatta*; vale a dire, non ha falsa esattezza.

Tutto ciò è vero dell'esperienza diretta quando si presenta la prima volta. Ma quando la si critica è passata ed è resa presente dalla *memoria*. E gli inganni e l'inesattezza della memoria sono proverbiali.

[...] Nel complesso, non possiamo allora in alcun modo raggiungere la perfetta certezza o l'esattezza. Non possiamo essere assolutamente sicuri di niente, né possiamo accertare con qualche probabilità l'esatto valore di una qualche misura, o di una proporzione generale.

È questa la mia conclusione, dopo molti anni di studio della logica della scienza; ed è la conclusione cui sono analogamente

giunti altri, di orientamento di pensiero molto diverso dal mio. Credo di poter dire che non vi sia alcuna opinione sostenibile sulla conoscenza umana che non conduca legittimamente a questo corollario. Certo, in ciò non vi è nulla di nuovo; e molti dei più grandi intelletti d'ogni tempo l'hanno considerato vero.

A dir la verità, quasi chiunque lo darà per buono finché non comincerà a rendersi conto di ciò che è implicito in quell'assunto – e allora molti si tireranno indietro. Non sarà ammesso da persone del tutto incapaci di riflessione filosofica. Non sarà ammesso appieno da quegli spiriti imprenditoriali che si sono sviluppati esclusivamente nella direzione dell'azione e che sono abituati a rivendicare un'infallibilità pratica nelle questioni d'affari. Questi uomini ammetteranno l'inevitabile fallibilità di ogni opinione con una certa prontezza, ma faranno sempre un'eccezione per le loro. La dottrina del fallibilismo sarà anche negata da chi teme le sue conseguenze nella scienza, nella religione e nella moralità. Ma mi prenderò la licenza di dire a questi signori piuttosto conservatori che, per quanto competenti possano rivelarsi nel dirigere gli affari di una chiesa o di qualche altra corporazione, è meglio che non tentino di gestire nello stesso modo la scienza. Il conservatorismo – nel senso del terrore per le conseguenze – è totalmente fuori luogo nella scienza, che al contrario è sempre stata spinta in avanti dai radicali e dal radicalismo, nel senso dell'impazienza di portare le conseguenze all'estremo. Non però da un radicalismo arciscuro, bensì da un *radicalismo che tenta esperimenti*. Anzi, è proprio tra gli uomini animati dallo spirito della scienza che la dottrina del fallibilismo troverà sostenitori.

Eppure, anche una persona siffatta potrebbe chiedermi se mi propongo di sostenere che non è completamente certo che due per due fa quattro! – e che probabilmente questo non è del tutto esatto! Ma supporre che la dottrina del fallibilismo implichi che due volte due non è probabilmente esattamente quattro vorrebbe dire fraintenderla. Come ho già detto, non è mio scopo mettere in dubbio che le persone possano di norma *contare* con efficacia. Né il fallibilismo afferma che gli uomini non siano in grado di raggiungere una conoscenza sicura delle creazioni della propria mente. Non lo afferma né lo nega. Dice unicamente che le persone non possono raggiungere la certezza assoluta nelle questioni di fatto. I numeri sono solo un sistema di nomi inventato dagli uomini

ni allo scopo di contare. È una genuina questione di fatto dire che in una certa stanza vi sono due persone. È una questione di fatto dire che ogni persona ha due occhi. È una questione di fatto dire che vi sono quattro occhi nella stanza. Ma dire che *se* vi sono due persone e ciascuna ha due occhi, *allora* vi saranno quattro occhi non è un'asserzione di fatto, ma un'asserzione riguardante il sistema di numeri che è una nostra creazione.

Eppure, se si spinge a fondo la cosa, vorrei chiedere se ogni individuo qui presente pensi che non vi sia spazio alcuno per dubitare che due per due fa quattro?

Che cosa pensate *voi*? Avete sentito parlare dell'ipnotismo. Sapete quanto è diffuso. Sapete che circa un uomo su *venti* è in grado di esser messo in una condizione in cui ritiene verità incontestabile il più ridicolo non senso. Come fa ogni individuo qui presente a sapere che io non sono un ipnotizzatore e che quando uscirà dalla mia influenza non si renderà conto che due per due fa quattro è solo una sua idea distorta e che di fatto tutti gli altri sanno che non è così? Supponiamo che l'individuo cui mi sto rivolgendo sia enormemente ricco. Allora gli chiedo: "in ragione di questa possibilità, oppure con la possibilità che tu sia in preda a una pazzia momentanea, rischiaresti qui, in questo esatto momento, la tua intera fortuna contro un cent sulla verità che due per due fa quattro?". Non dovrebbe certamente farlo, perché non potrebbe fare molti milioni con queste scommesse prima di *perdere*! Insomma, secondo la mia stima delle probabilità non c'è una sola verità della scienza sulla quale scommettere più di un miliardo a uno – e se ci fosse sarebbe generale e non un fatto particolare. La gente dice: "La tal cosa è certa come è certo che domani sorgerà il Sole". La locuzione mi piace per la sua grande moderazione, poiché è infinitamente lontano dalla certezza che domani il Sole sorgerà.

Torniamo ai nostri amici conservatori. Questi signori e signore mi diranno che la dottrina del fallibilismo non potrà mai essere ammessa perché le sue conseguenze minerebbero la religione. Posso solo dire che mi dispiace. La dottrina è vera – senza rivendicare per essa certezza assoluta, è *in sostanza* inattaccabile. E se le sue conseguenze sono antagonistiche rispetto alla religione, tanto peggio per la religione. Allo stesso tempo, non credo però che siano tanto antagonistiche. I dogmi di una chiesa possono essere infallibili – infallibili nel senso che è infallibilmente vero che è sba-

gliato uccidere e rubare – infallibili in pratica e in sostanza. Ma non riesco a capire che uso potrebbe mai fare una chiesa dell'infallibilità matematica. *Messieurs et mesdames les conservateurs* hanno in genere preso l'iniziativa nel determinare ciò che la chiesa dovrebbe dire delle novità scientifiche; e io non credo che sinora abbiano gestito la cosa con grande successo. Hanno cominciato col ritirarsi inorriditi dalle cosiddette eresie – la rotondità della Terra, la sua rotazione, la geologia, la storia dell'antico Egitto, e così via – e sono finiti col sostenere che la chiesa non ha mai pronunciato una singola parola contro una qualunque di queste verità della scienza. Forse la stessa cosa avverrà con la fallibilità. Per il momento chi sa di cose teologiche insiste dicendo che l'infallibilità è prerogativa della chiesa, ma forse a poco a poco ci verrà detto che tale infallibilità è sempre stata intesa in un *sensu ecclesiastico*. E anche questo sarebbe *vero*. Non mi meraviglierei se nei prossimi trent'anni le chiese si mostrassero piuttosto elastiche nel riformare i loro insegnamenti. Persino chi raduna principalmente persone molto ignoranti e molto ricche potrebbe sentire scorrere nelle proprie vene sangue nuovo.

Ma indubbiamente molti di voi diranno, come ha detto buona parte delle persone intelligenti: accettiamo pure il tuo *fallibilismo* visto che insisti tanto. Niente di nuovo. Un secolo fa Franklin ha detto che nulla era certo. Siamo d'accordo che sarebbe sciocco scommettere dieci anni di spese del governo degli Stati Uniti contro un cent su un qualsivoglia fatto. Ma, parlando in termini pratici, molte cose sono sostanzialmente certe. E quindi, che importanza ha il tuo *fallibilismo*?

Arriviamo al punto: quanto è importante? Vediamo un po'.

Come *potrebbe*, chiederete, essere importante una cosa così piccola? Rispondo: dopo tutto c'è differenza tra qualcosa e nulla. Se è in auge una teoria metafisica che non si fonda su nulla al mondo se non sull'assunto che bisogna raggiungere esattezza e certezza assolute, e se tale metafisica ci lascia senza gabbie in cui riporre fatti importanti così da costringerci a gettarli nel fuoco, o magari a ritornare alla nostra posizione precedente se questa teoria metafisica blocca seriamente la via dell'indagine, allora è comprensibile che la piccola differenza tra un grado di evidenza estremamente alto e uno di assoluta certezza debba dopo tutto essere di grande importanza, come lo è rimuovere un moscerino dal nostro occhio. [...]

Qualcuno vorrà gentilmente dire al resto del pubblico qual è la caratteristica più marcata e invadente della natura? Ovviamente, la sua varietà.

Ebbene, non so se sia logicamente accurato dire che questa meravigliosa e infinita diversità e molteplicità delle cose sia un segno di spontaneità. Per formazione sono un analista logico e dire che questa è una manifestazione di spontaneità mi sembra un'analisi fallace. Direi piuttosto che è spontaneità. Non so cos'altro si possa trarre dal significato di spontaneità se non novità, freschezza e diversità. Posso farvi una domanda? L'operazione della *legge* [fisica, in senso lato] può creare diversità dove prima non ve n'era? Ovviamente no; in circostanze date la legge meccanica prescrive *un solo* risultato determinato.

Posso dimostrarlo facilmente con i principi della meccanica analitica. Ma non ce n'è bisogno. Potete vedere da voi stessi che la legge prescrive risultati identici a partire da circostanze identiche. Questo è ciò che implica la parola *legge*. E allora tutta questa esuberante diversità della natura non può essere il risultato di una legge. Ebbene, che cos'è la spontaneità? È la caratteristica del non risultare per legge da qualcosa di antecedente.

Quindi, l'Universo *non* è un mero risultato meccanico dell'operazione della cieca legge. La più ovvia delle sue caratteristiche non può essere spiegata in tal modo. Sono i molteplici fatti dell'intera esperienza che ce lo mostrano; ma è stato il principio del fallibilismo che ci ha permesso di vedere questi fatti. Chi non riesce ad apprezzare l'importanza del fallibilismo ragiona così: vediamo queste leggi della meccanica; vediamo come in alcuni casi siano state verificate in modo molto rigoroso. Supponiamo che ciò che non abbiamo esaminato sia come ciò che abbiamo esaminato, e che queste leggi siano assolute, e che l'intero Universo sia un'immensa macchina che funziona per mezzo delle cieche leggi della meccanica. Questa è una filosofia che non lascia alcuno spazio a Dio! E invece no! Persino la coscienza umana, di cui non si può certo negare l'esistenza, viene consegnata al ruolo di un *flâneur* perfettamente pigro e senza funzione nel mondo, senza alcuna possibile influenza su alcunché – neanche su di sé. Ebbene, vorrei dirvi che questo fallibilismo non conta nulla? [...]

Ma il fallibilismo non può essere valutato nel suo vero significato sinché non si prende in considerazione l'evoluzione. È que-

sto ciò a cui il mondo ha maggiormente pensato negli ultimi quarant'anni, nonostante l'idea generale sia in sé piuttosto antica. La filosofia di Aristotele, che ha dominato il mondo per così tanto e che in gran misura esercita ancora una tirannia sulle menti di matematici e panettieri che non l'hanno mai sentita nominare, non è altro che evolucionismo metafisico.

Evoluzione, nel senso più ampio del termine, non vuol dire altro che *crescita*. La riproduzione, ovviamente, è solo uno degli episodi della crescita. E che cos'è la crescita? Non il semplice aumento. Spencer dichiara che è il passaggio dall'omogeneo all'eterogeneo – o, se preferiamo l'inglese allo spencerese – la *diversificazione*. Si tratta di un fattore certamente importante. Spencer afferma inoltre che è un passaggio dal disorganizzato all'organizzato; ma questa ulteriore definizione è tanto oscura che per il momento la lascerò da parte. Pensate a quanto sia sbalorditiva quest'idea della *diversificazione*! In natura abbiamo forse qualcosa come l'aumento della varietà? Sarebbero le cose così semplici, sarebbe la varietà minore nella nebulosa originaria da cui si suppone sia cresciuto il Sistema solare rispetto a quella che c'è ora, quando la terra e il mare brulicano di forme animali e vegetali, con le loro intricate anatomie e le loro ancora più meravigliose economie? Sembrerebbe ci sia stato un aumento della varietà, non vi pare? Eppure, la legge della meccanica, quella legge che l'infallibilista scientifico ci dice costituisca l'unico modo d'agire della natura, non può mai produrre diversificazione. Questa è una verità matematica – una proposizione della meccanica analitica. E tutti possono rendersi conto, senza alcun apparato algebrico, che la legge della meccanica da antecedenti simili può produrre solo conseguenti simili. E l'idea stessa di legge. Quindi, se fatti osservati puntano in direzione di crescita reale, puntano verso un altro modo d'agire, verso quella spontaneità per la quale l'infallibilismo non produce alcuna gabbia utile. E cosa si intende con il passaggio dal meno organizzato al più organizzato? Significa forse un passaggio dal meno interrelato al più interrelato, dal meno connesso al più connesso, dal meno regolare al più regolare? Come fa la regolarità del mondo ad aumentare se è stata assolutamente perfetta per tutto il tempo?

Ernst Mach

Errore, critica ed evoluzione della conoscenza

“Non ho nessuna fede, non sono uomo di alcuna chiesa” era solito dire Ernst Mach (1838-1916). Né fede nel primato della meccanica come fondamento dell'edificio scientifico cui ridurre in primo luogo l'intera fisica, e in secondo luogo le altre discipline (come fisiologia e psicologia); né in alcuna corporazione di specialisti, fossero pure i suoi colleghi. Espressioni del genere, che ricorrono soprattutto nel corso di una dura polemica con Max Planck (1858-1947), testimoniano un libertarismo a un tempo intellettuale ed etico che già è spiegato pienamente in quel testo del 1883, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, verso cui lo stesso Albert Einstein si dichiarerà nella sua *Autobiografia* (1949) profondamente debitore. Del resto, sin dai primi lavori di fisica e di fisiologia, e ancor più in un fondamentale scritto del 1872, era apparsa chiara a Mach la necessità di smontare il “pregiudizio” del primato della meccanica. Pur considerandola “un'ipotesi storicamente comprensibile”, data la sua semplicità e l'antichità delle esperienze meccaniche, e “forse anche temporaneamente utile”, la concezione meccanicistica della natura risulta per Mach “artificiosa” allorché si fa proprio il “metodo” seguito dai grandi maestri del passato (Galileo, Newton, Faraday ecc.), imparando a “limitarsi all'espressione del *fattuale*, senza costruire ipotesi su ciò che sta al di là di questo, e non può essere conosciuto e controllato”. Tale metodo permette di constatare come la stessa meccanica newtoniana poggi su presupposti “metafisici” che alla fine si sono rivelati di ostacolo alla crescita della conoscenza.

Si prendano, per esempio, le pagine dei *Principia* di Isaac Newton (1642-1727), nella versione italiana di Federico Enriques. “Tempo, spazio [...] e moto [...] vengono di solito concepiti per le relazioni che essi hanno con le cose sensibili [...] mentre ci] converrà distinguere suddette qualità in assolute e in relative, vere e apparenti, matematiche e volgari [...]. Il *tempo assoluto* vero e matematico [...] fluisce egualmente e si chiama *durata*, il *tempo relativo*, apparente e volgare, è quella misura accurata o no, sensibile ed esterna di una parte qualsiasi di durata, tratta dal movimento [...]. Lo *spazio assoluto*, considerato nella sua natura senza relazione a nulla di

estraneo, rimane sempre omogeneo e immobile. Lo *spazio relativo* è quella misura o dimensione mobile dell'*assoluto* che si rivela ai nostri sensi grazie alla relazione con i corpi [...]. Il *moto assoluto* è il passaggio di un corpo da un luogo assoluto a un luogo assoluto, il *relativo* il passaggio da un luogo relativo a uno relativo." Agli occhi di Mach tali nozioni appaiono "illusorie" ipostatizzazioni, tanto più che lo stesso Newton, pur nutrendo "una certa propensione per l'assoluto metafisico", non avrebbe mai smesso di farsi guidare "dalla prudenza dello scienziato". In particolare, nel caso dello spazio, Mach sottolinea come Newton, convinto della portata del principio di inerzia, ma ritenendo erroneo riferirlo alla Terra "supposta in quiete" e volendo stabilire "un sistema di riferimento universalmente valido", avesse sì parlato di uno spazio assoluto, salvo, nell'applicazione di quel principio allo studio dei moti celesti, collegare un tale sistema alle stelle fisse, dando così "un preciso significato alla sua *generalizzazione ipotetica* della legge d'inerzia". E ciò dimostra per Mach che, poiché pure in questo caso "il sistema di riferimento è relativo", non c'è alcun bisogno del "riferimento a uno spazio assoluto"; piuttosto, occorre esplicitare il riferimento alle stelle fisse, riformulando in modo più adeguato il principio di inerzia.

In virtù del suo carattere "esemplare" la storia della meccanica getta luce sul generale modo di procedere delle scienze naturali, schiudendo la via per una loro "unificazione" che non si risolveva in una mera "riduzione". Così, in *Die Analyse der Empfindungen* (1900), un testo che come la *Meccanica* avrà numerose riedizioni e che riprende e integra una prima versione del 1896, Mach denuncia il "*pregiudizio*" della "fisologia-fisica" allora dominante, la quale, non diversamente dalla meccanica del tempo, finiva per ricadere in vuote costruzioni metafisiche. Ma se si attiene al "*fattuale*", l'indagine scientifica non può, secondo Mach, non riconoscere che "non esiste alcun abisso tra psichico e fisico", ossia che non esistono "*interiorità ed esteriorità, né sensazioni* che corrispondano a cose esterne da loro distinte", bensì soltanto "*elementi di una medesima specie* i quali compungono sia la presunta interiorità sia l'altrettanto presunta esteriorità". In altri termini: "il mondo *sensibile* appartiene a un *tempo* all'ambito fisico e psichico", è il "*medesimo*", e la distinzione tra psichico e fisico è di "carattere *pratico e convenzionale*", dipendendo dal tipo di ricerca intrapreso. Gli "elementi" – colori, suoni, pressioni, calori, odori ecc.; si badi che sulla scia di George Berkeley (1685-1753), Mach ha contestato la distinzione tra qualità primarie e secondarie desumibile da Galileo e teorizzata da John Locke (1632-1704) –, come viene ribadito in *Erkenntnis und Irrtum* (1905), sono i componenti ultimi di quegli insiemi "relativamente stabili" (gli oggetti ma anche il *nostro* corpo) che ci sono dati nell'esperienza, e saranno detti *fisici* o *psichici* a seconda dei nessi funzionali considerati. In tal modo Mach può non solo dichiarare il carattere fittizio di problemi metafisici quali quelli relativi all'essere della cosa o dell'Io ("*Cosa e io* sono funzioni provvisorie dello stesso tipo"), ma anche riconoscere a partire da questo terreno comune e

ontologicamente neutro l'anima unità delle scienze (tema che sarà ripreso, non senza differenze, dagli esponenti del Circolo di Vienna). Ciò che caratterizza la conoscenza scientifica, sia essa fisica o fisiologica, è la determinazione delle correlazioni tra i *complessi* di elementi e gli *elementi* stessi, i quali di per sé non sono mai rilevabili isolatamente e costituiscono i componenti ultimi di ciò che è dato non in assoluto, ma in via provvisoria, "tanto quanto lo erano quelli dell'alchimia, e lo sono anche [quelli] chimici ora in uso". La scienza, come il senso comune, è dunque qualcosa di più di una mera constatazione di fatti bruti. "Ogni individuo singolo, e non solo l'umanità, nel suo crescere fino alla piena coscienza trova già pronta una visione del mondo compiuta, che egli non ha deliberatamente contribuito a edificare e che accetta come un dono della natura e della civiltà. Tutti debbono cominciare da qui." Tutti, compreso l'uomo di scienza che nel suo lavoro non fa che perpetuare e rendere "*intenzionale*" quell'"adattamento" delle "idee" ai "fatti" e delle "idee tra di loro" che contraddistingue la vita rappresentativa di qualsiasi essere animale, ponendosi per così dire al termine della "linea continua di evoluzione che ha inizio con le prime, semplici manifestazioni vitali" e rivelando quella "tendenza all'economia" che, in gradi diversi, tutte le accomuna. In tal modo *teoria* e *osservazione* risultano intrinsecamente legate ("quasi tutte le osservazioni sono già influenzate dalla teoria e, se hanno sufficiente importanza, influenzano a loro volta la teoria") secondo una dinamica evolutiva di chiara matrice darwiniana (assunta, però, non sulla base di una metafisica del divenire, bensì come "*ipotesi di lavoro scientifico* modificabile", il cui valore "risiede nella misura in cui facilita la comprensione *provvisoria* di ciò che ci è dato nell'*esperienza*"); e la ricerca scientifica appare guidata da un insieme di interessi e di finalità che "selezionano" il flusso magmatico e sempre cangiante dell'esperienza, astraendone le relazioni che consentono di fissare le "dipendenze funzionali" tra gli elementi. Ciò spiega il rifiuto, da parte di Mach, di "designare le scienze nel loro complesso come 'scienze induttive'", e le sue riserve, in particolare, nei confronti di Mill. Non diversamente dalla deduzione, l'induzione non costituisce la "fonte cognitiva vera propria dello scienziato", servendo semmai da strumento utile per il controllo; non dà cioè conto di quel complesso di "*astrazione*" e di "*attività della fantasia*" che solo porta al "ripetimento di nuove conoscenze". Per Mach, infatti, occorre "una fantasia tanto più viva quanto più il problema da risolvere è lontano dall'interesse logico immediato". Ed è dalla necessità di risolvere tali problemi che muove la ricerca: "lo scienziato cerca un'idea illuminante", e le soluzioni che prospetta non sono che "interpretazioni *provvisorie*", ossia *ipotesi* le quali devono "condurre a nuove osservazioni ed esperimenti" che consentano "di confermare, respingere o modificare la nostra congettura; in breve, di ampliare l'esperienza". Gli stessi resoconti di osservazioni ed esperimenti hanno carattere ipotetico: qualsiasi preteso scontro tra teoria ed esperienza è in realtà uno scontro tra idee. Ne deriva un'immagine della scienza "*in di-*

"venire" che si "muove per congetture e confronti", per la quale nessun risultato, positivo o negativo che sia, può mai essere considerato "decisivo" e l'errore contribuisce non meno della conferma all'"adattamento" della conoscenza.

Le pagine che seguono sono tratte da E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (1883), 1933⁹, tr. it., note e introduzione di A. D'Elia, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Bollati Boringhieri, Torino 1992, pp. 493-495; e da E. Mach, *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung* (1905), Barth, Leipzig, 1926³, tr. it. di S. Barbera, *Conoscenza ed errore. Schizzi per una psicologia della ricerca*, introduzione di A. Gargani, Einaudi, Torino 1982, pp. 228-235, 243, 297, 305-309.

Di Mach si vedano anche: *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, Galve, Prag 1872; *L'analisi delle sensazioni* (1896/1900), tr. it. Feltrinelli-Bocca, Milano 1975.

Per approfondire: F. Adler, *Ernst Mach e il materialismo*, tr. it. a cura di A. Negri, Armando, Roma 1978; J. T. Blackmore, *Ernst Mach. His Work, Life and Influence*, University of California Press, Berkeley 1972; J. T. Blackmore, R. Hagati e S. Tanaka (a cura di), *Ernst Mach's Vienna 1895-1930*, Kluwer, Dordrecht 2001; G. Boniolo, *Mach ed Einstein*, Armando, Roma 1988; J. Bradley, *Mach's Philosophy of Science*, The Athlone Press, London 1971; R.S. Cohen e R.J. Seeger (a cura di), *Ernst Mach Physicist and Philosopher*, Reidel, Dordrecht 1970; A. D'Elia, *Ernst Mach*, La Nuova Italia, Firenze 1971; A. Gargani, "La 'buona' austriacità di Ernst Mach", introduzione a E. Mach, *Conoscenza ed errore*, cit., pp. VII-XI; R. Haller e F. Stadler (a cura di), *Ernst Mach. Werke und Wirkung*, Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1988; G. Holton, *L'immaginazione scientifica*, tr. it. Einaudi, Torino 1983, in particolare pp. 143-180; VI. Lenin, *Materialismo ed empiriocritismo*, tr. it. Editori Riuniti, Roma 1953; R. Musil, *Sulle teorie di Mach*, tr. it. Adelphi, Milano 1973; M. Planck, *Scienza, filosofia, religione*, tr. it. Fabbri, Milano 1965; K. Popper, *Congetture e confutazioni*, tr. it. il Mulino, Bologna 1985, in particolare pp. 287-301; G. Wolters, *Mach 1, Mach 2, Einstein und die Relativitätstheorie: eine Falschung und ihre Folgen*, de Gruyter, Berlin-New York 1987.



Tutta la scienza ha origine dai bisogni della vita. La scienza si divide in parti distinte secondo le particolari professioni, attitudini e capacità dei suoi cultori, ma ognuna di tali parti può conservare la sua piena validità solo in rapporto con il tutto, poiché solo mediante questo legame raggiunge i suoi scopi ed evita mostruosi sviluppi unilaterali.

La divisione del lavoro, la specializzazione di un ricercatore in un piccolo dominio, l'esplorazione di questo dominio perseguita come compito di una vita sono condizioni necessarie per un fruttuoso progresso scientifico. Solo questa specializzazione infatti permette che si formino strumenti intellettuali economici indispensabili per la conquista di ogni singolo dominio. Bisogna però evitare il pericolo di sopravvalutare gli strumenti di cui ci si è serviti, e di considerarli come scopo ultimo della scienza, mentre ne sono soltanto il mezzo.

Il fatto che la meccanica abbia raggiunto un livello di formalizzazione maggiore, a paragone delle altre scienze naturali, ha prodotto, a nostro giudizio, una situazione particolare. Agli strumenti di pensiero elaborati dalla fisica, ai concetti di massa, forza, atomo, che non hanno altra funzione che quella di richiamare esperienze economicamente ordinate, viene attribuita dalla maggior parte degli scienziati una realtà extramentale. Essi pensano che forze e masse siano l'oggetto essenziale della ricerca, dalla cui conoscenza ogni altra possa derivare. Si comportano come colui che, avendo esperienza del mondo solo attraverso il teatro, scoprisse dietro le quinte le attrezzature meccaniche, e ne trasse la conclusione che il mondo reale consiste in un palcoscenico e tutto è conosciuto una volta che questo lo sia. Insomma, non dobbiamo considerare come *fondamenti* del mondo reale gli strumenti intellettuali che ci servono *alla rappresentazione del mondo sulla scena del pensiero*.

Nella conoscenza precisa dell'ordinamento delle scienze particolari sotto il sapere generale è implicita una filosofia che può essere accettata da ogni scienziato. La mancanza di questa conoscenza porta a pseudoproblemi. Già la formulazione di questi problemi, che li si consideri poi risolvibili o no, è di per sé un'assurdità. Un'esagerata stima della fisica rispetto alla fisiologia, un misconoscimento del vero rapporto tra le due scienze sono espressi nella domanda: *è possibile spiegare le sensazioni mediante movimenti di atomi?*

Cerchiamo di stabilire quali circostanze permettano la formulazione di una simile domanda. Si concede *una fiducia maggiore* alle esperienze che riguardano relazioni spaziali e temporali, si attribuisce loro un carattere *più obiettivo, più reale* che non a quelle di colore, suono, calore ecc. Una ricerca un poco più precisa impedisce però di cadere in errori siffatti. Le sensazioni di tempo e di spazio sono *sensazioni* come quelle di colore, di suono e di gusto. La sola differenza è che la conoscenza delle prime è per noi più chiara

e abituale di quelle delle altre. Lo spazio e il tempo fisici sono sistemi di sensazioni ordinate serialmente. Le grandezze che compaiono nelle equazioni della meccanica non sono altro che gli indici dell'ordinamento metrico dato ai membri delle serie. Le equazioni esprimono la dipendenza reciproca di questi indici d'ordine.

Un corpo è una somma relativamente costante di sensazioni tattili e visive, legate alle sensazioni di spazio e di tempo. Le leggi della meccanica, per esempio quella della reciproca accelerazione di due masse, danno direttamente o indirettamente la connessione di sensazioni tattili, luminose, spaziali e temporali. Esse conservano un significato intelligibile solo per il loro contenuto sensibile (spesso molto complicato).

Voler dedurre le sensazioni dal movimento di masse significa voler spiegare ciò che è più semplice e più vicino mediante ciò che è più complesso e più lontano; senza tener conto poi del fatto che i concetti meccanici sono mezzi economici dei fatti meccanici, e non di quelli fisiologici o psicologici. Per evitare che pseudoproblemi di questo genere vengano posti, occorre distinguere tra mezzi e fini della scienza e limitarsi all'esposizione del fattuale.

La scienza non può che riprodurre e anticipare complessi di quegli elementi, comunemente detti sensazioni. Essa tratta dunque della connessione di questi elementi. Un elemento come il calore del corpo *A* non dipende solo da altri elementi, per esempio da quelli la cui somma chiamiamo fiamma *B*, ma anche dalla totalità degli elementi del nostro corpo, per esempio dal nervo *N*. Come oggetto ed elemento *N* non è per natura, ma solo per convenzione diverso da *A* e da *B*. La relazione tra *A* e *B* è una questione di fisica; quella tra *A* e *N* di fisiologia. Nessuna delle due esiste da sola, esse si presentano insieme. Solo temporaneamente si può astrarre dall'una o dall'altra. Anche i fenomeni che appaiono semplicemente meccanici sono dunque sempre e nello stesso tempo fisiologici, e come tali elettrici, chimici ecc. La meccanica non è il fondamento, e nemmeno una parte dell'Universo, bensì un aspetto di esso.

Solo a causa della limitatezza dei nostri sensi e del nostro strumento intellettuale esistono fatti isolati. I pensieri sviluppano in modo istintivo o intenzionale un'osservazione in quanto integra-

no i fatti riferendosi alle loro parti, conseguenze o condizioni. Il cacciatore trova una piuma e la fantasia gli arreca subito l'immagine dell'uccello intero, dello schiacciamento di cui aveva perso le tracce. Una corrente marina porta piante esotiche, carcasse di animali, pezzi di legno intagliati, e agli occhi di Colombo si delinea la terra lontana ancora ignota da cui vengono quelle cose. Erodoto osserva le inondazioni regolari del Nilo e si immagina cose le più straordinarie sugli eventi a cui esse possono essere connesse. Anche agli animali superiori è familiare questo dipanarsi di fatti osservati in rappresentazioni, anche se in forma estremamente primitiva. Il gatto che cerca la sua immagine riflessa dietro lo specchio ha fatto, anche se in modo istintivo e inconsapevole, un'ipotesi sulla propria corporeità e si accinge per l'appunto a verificarla. Ma con ciò, per lui il processo è finito, mentre l'uomo, in casi analoghi, proprio a questo punto comincia a stupirsi e a pensare.

Di fatto, la formazione di ipotesi scientifiche non è che un grado ulteriore di sviluppo del primitivo pensiero istintivo, e possiamo dimostrare tutti i passaggi dall'una all'altra. In un campo di fatti assai noto compaiono anche congetture ovvie e familiari, della cui natura ipotetica non ci si accorge affatto anche se qualitativamente non si differenziano dall'ipotesi. È quel che accade negli esempi che abbiamo menzionato. Se Colombo suppone che a ovest esista una terra, o Le Verrier la presenza in una determinata traiettoria di un pianeta che la perturba inclinando in quella direzione, in entrambi i casi la congettura integra in modo ovvio un'osservazione basandosi sull'esperienza quotidiana dell'osservatore. Quanto più le osservazioni a cui ci rifacciamo sono nuove, inconsuete ed estranee, tanto più strane e desuete sono le congetture. Tuttavia, anche le rappresentazioni che ivi compaiono non possono che essere tolte dal materiale dell'esperienza, per quanto risultino strane le combinazioni cui danno luogo. [...]

Le interpretazioni scientifiche si riallacciano immediatamente alle concezioni popolari: all'inizio non sono separabili, poi si sviluppano staccandosi gradualmente. Per motivi fisiologici il cielo ci appare come una sfera di raggio determinato e non molto grande. È la concezione popolare, e anche la prima interpretazione scientifica. Lo spettacolo della notte ci induce ad attribuire alla sfera una rotazione e a pensare che le stelle vi sono fissate per non cadere. Poi i moti diseguali che un'osservazione più ravvicinata

dei pianeti, della Luna e del Sole fa notare, fanno congetturare l'esistenza di varie sfere trasparenti inserite l'una nell'altra e fornite di rotazioni *diverse*. Si sviluppano così, per gradi, la teoria degli epicicli, la teoria tolemaica, la teoria eliocentrica antica e il sistema copernicano. La relazione tra Luna e maree non sfugge al popolo. Fino a che gli scienziati vedono solo nella pressione e nell'urto la causa del moto, credono a un'onda di pressione atmosferica che la Luna si tira dietro; con le azioni a distanza, la pressione diventa attrazione. [...] A questo punto, se guardiamo più da vicino all'ipotesi scientifica, vediamo anzitutto che tutto ciò che non poteva essere accertato immediatamente con l'osservazione, può essere oggetto di integrazione mentale, supposizione, congettura, presupposto o ipotesi. [...]

"Hypothesis", conformemente al vecchio uso linguistico, vuol dire la somma delle condizioni per le quali una proposizione matematica – la tesi – vale e può essere dedotta, cioè dimostrata a partire dall'"hypothesis". Qui l'"hypothesis" è un dato non connesso ad altra condizione che non sia la possibilità matematica e logica; la tesi è ciò che se ne è inferito. Nella scienza, *all'inverso*, dobbiamo prendere le mosse da fatti sicuramente dati e pervenire alle condizioni con un ragionamento regressivo, analitico, indeterminato. In questo caso si offrono varie possibilità, e tanto più numerose quanto più l'esperienza (che in questo campo, accanto alla logica, ha molto più da dire che nel campo della matematica) è ancora imperfetta. *Chiamiamo ipotesi una congettura provvisoria, fatta a mo' di tentativo, per un'intelligenza più facile dei fatti, ma che ancora si sottrae alla verifica fattuale*. La provvisoria può avere durata assai varia; di un attimo, come nell'esempio dell'immagine speculare, o di un secolo come nel caso dell'ipotesi sulla missione della luce o del sistema tolemaico. La natura logico-psicologica dell'ipotesi non ne viene modificata.

Newton ha mostrato una decisione avversione alle ipotesi. La sua prima regola filosofica, o di ricerca, suona così: "Nella spiegazione della natura, non ammettere che le cause *reali* e sufficienti a spiegare i fenomeni". Essa intima chiaramente di non fingere spiegazioni quando all'intelligenza basta ciò che è effettivamente noto. Nello stesso scritto c'è un altro passo caratteristico dell'atteggiamento di Newton: "Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potuit deducere, et *hypothese*

ses non fingo. Quidquid enim ex phaenomenis non deducitur, hypothesis vocanda est, et hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatium occultarum, seu mechanicae, in philosophia experimentalibus locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, et redduntur generales per inductionem". In questo contesto, il plurificato "hypotheses non fingo" può essere riferito in primo luogo, e con legittimità, a una ulteriore spiegazione della gravità. Newton ha dimostrato effettivamente esistente la legge dell'accelerazione inversa al quadrato della distanza, l'ha dedotta dai fenomeni. Quindi questa *non* è un'ipotesi. Ma non sa da dove vengano queste proprietà della gravità, non è in grado di estrarle dai fenomeni e rifiuta di avanzare una spiegazione *inventata*. [...]

La strada imboccata da Newton nella ricerca e la sua posizione appaiono dunque chiarissime. Egli fu indotto a pensare che le masse esercitano azioni a distanza le une sulle altre, analogamente a quanto fa la Terra con i corpi che cadono su di essa. Suppose inoltre che l'azione a distanza è inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Ma quando l'indagine analitica indicò che tale supposizione descriveva tutti i moti terrestri e del sistema planetario, la rappresentazione cessò per lui di essere un'ipotesi. Per Newton era un *risultato dell'analisi* dei fenomeni. Cosa che egli separava nettamente dalla questione se l'azione a distanza poteva essere a sua volta ricondotta a qualcosa di più semplice per spiegarla. *Solo* questo restava per lui oggetto di speculazione o di "ipotesi". Sarebbe stato certamente un grave danno per il progresso scientifico considerare le due cose sullo stesso piano, confonderle, oppure lasciare impregiudicata l'assunzione dell'azione a distanza *a causa* della sua inesplicabilità reale o apparente. [...]

Ci si è dati molta pena per mettere d'accordo le dichiarazioni di principio di Newton con la sua pratica: ma anche se la cosa non dovesse riuscire del tutto non sarebbe gran danno. Anche i grandi uomini talora parlano e scrivono con toni che sostengono più di quanto non siano in grado di mantenere. In Newton ci sono vari passi del genere, e in Cartesio certamente molti. Credo tuttavia che le dichiarazioni di Newton e il suo comportamento pratico di scienziato siano molto ben comprensibili. Presa senza nessuna precauzione, l'espressione "hypotheses non fingo" suonerebbe così: "Non congetturo nulla al di là di quel che vedo, non mi fac-

cio assolutamente idee che oltrepassino l'osservazione". In ogni pagina dei suoi scritti Newton contraddice questa interpretazione. Egli spicca proprio per la ricchezza di congetture. Sa anche escludere molto rapidamente, con esperimenti, quelle inutilizzabili, che non resistono alla verifica. Ciò che non può essere derivato dai fenomeni, dice, è un'ipotesi. In questo senso, dunque, ciò che segue dai fenomeni *non* è un'ipotesi ma è, se ci adeguiamo al suo modo di pensare, un risultato dell'*indagine analitica*. Anche se fa uso di immagini per rendere intuitive le idee, non attribuisce a esse valore particolare. [...] Dovunque, in Newton, troviamo la distinzione rigorosa e fondamentale – e la valutazione assai diversa dei due – tra *sapere* reale, *accertato in modo definitivo*, e mera *congettura*, cioè la *rappresentazione per immagini*.

[...]

La scienza *in divenire* si muove per *congetture* e confronti – e questo non può essere negato. Ma quanto più si avvicina alla perfezione, tanto più passa alla descrizione diretta dei fatti. L'analoga tra due fatti ci aiuta a cercare nuove proprietà. Che dall'analoga risultino nuove concordanze o differenze, in ogni caso l'esperienza ne guadagna. Sia le *concordanze* sia le *differenze* significano altrettante nuove determinazioni concettuali delle proprietà dei fatti. Il legame dello scienziato con i suoi predecessori, che fa sì che non si perda l'esperienza già acquisita, è importante per questo processo tanto quanto lo scambio di individui, popoli e razze dedite alla ricerca, che ne assicura la pluralità e la spregiudicatezza. Dunque l'ipotesi, nella sua *funzione di autodistruggersi*, conduce infine all'espressione concettuale dei fatti.

[...]

Secondo la teoria aristotelica ci sono due modi di inferire o di derivare i giudizi da altri giudizi senza contraddizione: l'inferenza da un giudizio più generale a un giudizio più particolare, determinato dal primo, ed è il *silogismo*; l'inferenza dai giudizi particolari al giudizio generale che li comprende, e che ora si chiama *induzione*. I giudizi che formano una scienza, un sistema, sono adattati perfettamente, senza contraddizione, tra loro se sono derivabili l'uno dall'altro secondo questi modi d'inferenza. Basta questo a capire che le regole della logica non possono avere il compito di

aprire nuove fonti cognitive. Debbono servire, piuttosto, a saggiare la concordanza o la discordanza delle conoscenze ottenute da *altre* fonti, e nel secondo caso a indicare la necessità di istituire una concordanza piena.

[...]

Silogismo e induzione non producono nessuna nuova conoscenza, assicurano solo che non ci sia contraddizione tra le nostre conoscenze, ne chiariscono la connessione, richiamano l'attenzione su vari lati di una conoscenza e ci insegnano a riconoscerla in forme diverse. È chiaro quindi che la fonte cognitiva vera e propria della scienza deve risiedere da un'altra parte. È ben strano, allora, che la maggior parte degli scienziati che si sono occupati dei metodi della ricerca continuino a indicare nell'*induzione* lo strumento principale della ricerca, quasi che le scienze non abbiano altra occupazione che quella di ordinare in classi i fatti individuali a portata di mano. L'importanza di questa occupazione non va contestata, però non esaurisce il compito dello scienziato: egli deve prima di tutto individuare i caratteri dell'oggetto d'indagine e le loro connessioni, cosa molto più difficile del classificare ciò che è già noto. Perciò anche designare le scienze nel loro complesso come "scienze induttive" non è giustificato.

È una definizione che si capisce solo facendo riferimento a una tradizione e convenzione invecchiate da tempo, e ancora mantennute. Se consideriamo le tavole baconiane delle "istanze" che parlano a favore o contro una congettura, o gli schemi di concordanza e differenza di Mill, vediamo che il *confronto* può farci attenti a una connessione fino allora trascurata, anche quando non dà abbastanza nell'occhio da attirare subito lo sguardo. Se l'*attenzione è concentrata* sui caratteri in dipendenza reciproca, *distolta* dai meno importanti, diciamo che c'è astrazione. Abbiamo così raggiunto la situazione che *può* condurre a una scoperta, ma anche all'errore se la guida dell'attenzione è erronea. Ora, questo processo non ha niente a che vedere con l'induzione. Ma se riflettiamo che l'osservazione o enumerazione di *molte* casi, che malgrado le variazioni concordano in certi caratteri, ci porta con maggior facilità a concepire *astrattamente* i caratteri *stabili*, che non la considerazione di *un solo* caso, per analogia questo processo ricorderà di fatto l'induzione. Per questo forse il termine si è conservato così a lungo.

Ma le interpretazioni dei vari scrittori che si sono occupati di metodologia della scienza su ciò che debba chiamarsi induzione vera e propria sono molto diverse, sia in generale sia nei particolari, quando si tratta di applicazioni specifiche. Mill definisce induzione l'inferenza da un particolare a un altro particolare che concorda con il primo in certi caratteri. Whewell invece riconosce come inferenze induttive solo quelle che fanno ottenere *nuove* proposizioni *general*i, in cui c'è *più* che nel caso particolare. Contrariamente a Mill, non considera induzioni le inferenze analogiche dal particolare al particolare, come quelle che fanno gli animali o che guidano qualunque prassi. Qui, però, sembra difficile poter tracciare un confine psicologico netto. La scoperta kepleriana del moto ellittico di Marte sembra a Mill una mera *descrizione*, un'operazione analoga in tutto e per tutto a quella di un navigatore che circumnavigando un'isola ne fissa i contorni; Whewell considera la scoperta di Keplero – come quella di Newton – un'induzione e nota che di fatto teorie diverse possono essere interpretate come *descrizioni* diverse della stessa cosa; l'elemento essenziale dell'induzione starebbe nel fatto che viene introdotto un nuovo concetto – l'ellisse di Keplero, il vortice di Cartesio, l'attrazione inversamente proporzionale al quadrato di Newton. [...]

Senza lasciarci sviare dalle nomenclature, cerchiamo ora di analizzare il processo della ricerca. La logica non produce nuove conoscenze. Ma allora, da dove vengono? Esse germinano sempre dall'*osservazione*, che può essere "esterna", sensoriale, oppure "interna", e allora riguarda le rappresentazioni. L'attenzione sottolinea ora questa ora quella connessione di elementi e le fissa in concetti: quando il dato che si ripete viene mantenuto rispetto ad altri, e si dimostra sostenibile, c'è conoscenza, nel caso contrario errore. Il fondamento di ogni conoscenza dunque è l'*intuizione*, che può riferirsi sia al sentito sensorialmente sia al rappresentato in modo puramente intuitivo, sia al potenzialmente intuitivo, concettuale ecc. La conoscenza logica non ne è che un caso particolare, che si occupa esclusivamente del dato della concordanza e della contraddizione, e che non può non presupporre dati precedentemente prodotti dalla percezione o dalla rappresentazione. Sia che veniamo condotti a un nuovo dato effettivo della vita sensoriale o rappresentativa per puro caso fisico o psichico, mediante estensione pianificata dell'esperienza, si tratta sempre di *questo*

dato, da cui scaturisce ogni conoscenza. Se in noi nasce interesse per un nuovo dato, per la sua importanza biologica mediata o immediata, per la sua concordanza od opposizione con altri dati, basta il meccanismo psichico dell'associazione a far concentrare l'attenzione su due o più elementi collegati tra loro nel dato. Compare già *astrazione* involontaria, negligenza degli elementi che paiono privi di importanza là dove il caso particolare ha il carattere del caso generale, che rappresenta molti casi individuali della stessa specie. La comparsa di questa situazione psicologica viene favorita naturalmente dall'accumularsi di più dati della stessa specie, ma quando l'interesse è vivo ne basta *uno solo* a suscitare. Lo scienziato esperto può astrarre per tentativi anche in modo intenzionale, con la piena consapevolezza di correre un rischio – a prescindere dalle circostanze accessorie. Allora l'idea più generale va saggiata – per quanto concerne la sua sostenibilità – con l'osservazione e l'esperimento. Ma poiché la rappresentazione del dato individuale viene plasmata ed estesa a idea più generale per tentativi, questa integrazione provvisoria dà un certo spazio all'arbitrio. Uno o più casi osservati possono offrire punti d'appoggio a *una parte* di questo processo di estensione del dato. Così, Keplero può vedere che Marte si muove in un'orbita ovale, Galilei che la velocità di caduta aumenta con l'aumentare dello spazio, Newton che un corpo più caldo si raffredda tanto più rapidamente quanto più l'ambiente è freddo; ma un'altra *parte* deve essere aggiunta *per attività autonoma* sulla base del patrimonio mentale accumulato. Così, quando Keplero suppone, per tentativi, che l'orbita di Marte sia un'ellisse, sia tratta di una sua costruzione. Lo stesso vale per il presupposto galileiano della proporzionalità tra tempo e velocità della caduta, e per la proporzionalità newtoniana tra velocità di raffreddamento e differenza di temperatura. Esperienze relative all'astrazione concettuale – di ordinamento, calcolo, costruzione – propria dello scienziato debbono coordinare la formazione concettuale dell'idea generale: l'osservazione da sola non basta.

Jules-Henri Poincaré

La natura convenzionale dei principi

Nel terzo dei suoi viaggi Lemuel Gulliver incontra il bizzarro popolo dei Laputiani, i cui brillanti successi in astronomia surclassano quelli dei ricercatori europei. In particolare, essi "hanno scoperto due stelle minori, o satelliti, che girano intorno a Marte; [...] il che evidentemente dimostra che sono governati da quella stessa legge di gravità che agisce sugli altri corpi celesti". Fuor di funzione, questa conferma della concezione newtoniana fu ottenuta soltanto nel 1877 dal potente telescopio dell'americano Asaph Hall. Ma il Gulliver di Jonathan Swift (1667-1745) osserva che proprio quei successi sono all'origine di alcune insolite abitudini dei Laputiani, i quali temono che un giorno collassi quella che nel 1713 Isaac Newton aveva chiamato, nello "Scholium generale" che conclude la seconda edizione dei *Principia*, "l'elegante compagine del Sole, dei pianeti e delle comete". Per dirla con le parole (1912) di Enriques, "lo spettacolo della catastrofe bruciò gli occhi del severo scienziato" il quale, non riuscendo a dimostrare la stabilità del Sistema solare, "si rifugiò nella fede divina, lasciando alla Provvidenza di ristabilire l'ordine turbato del cosmo". Diversamente dal filosofo naturale di Cambridge, sospeso tra astrologia e politica, nonché dal "Decano pazzo" di St Patrick (Dublino), il matematico di Nancy, Jules-Henri Poincaré (1854-1912), che aveva già al suo attivo un'impressionante gamma di contributi nella teoria delle equazioni differenziali, non ebbe il timore di accettare la sfida del re di Svezia, Oscar II; questi, nel dicembre 1885, aveva messo in palio un premio per la più rilevante scoperta in analisi matematica (per la cronaca: 2500 corone svedesi, più una medaglia con l'effigie del sovrano). Tra i temi indicati dalla commissione il giovane Poincaré scelse il più difficile: "Dato un sistema di un numero qualsiasi di punti materiali che si attraggono reciprocamente secondo la legge di Newton si propone, supponendo che non abbia mai luogo la collisione tra due di essi, di rappresentare le coordinate di ciascun punto sotto forma di serie che procedono secondo qualche funzione nota nel tempo e convergono uniformemente per ogni valore reale della variabile". Nel 1889 Poincaré pubblica sugli *Acta mathematica* un articolo destinato, come ebbe a dichiarare lo stesso presi-

dente della commissione, Karl Weierstrass (1815-1897), ad aprire "una nuova epoca nella meccanica celeste", modificando radicalmente l'approccio al più generale e secolare problema degli n corpi (versione astratta della questione newtoniana concernente il movimento di pianeti e satelliti nel nostro Sistema solare). Avvalendosi delle indicazioni di Simon Newcomb (1835-1909) circa la possibilità di sviluppare le funzioni che esprimono le coordinate dei pianeti in serie trigonometriche, Poincaré mostra che "gli elementi canonici dei pianeti possono svilupparsi formalmente in serie trigonometriche secondo i multipli di un certo numero di argomenti rispetto al tempo", e, infine, contro le speranze implicite nel tema del concorso svedese, che le coordinate di quei "punti materiali" non possono essere espresse per mezzo di serie sempre convergenti, sicché la stabilità del sistema non può essere garantita in assoluto – anche se è possibile farlo per tempi sufficientemente lunghi rispetto gli usuali standard dell'astronomia.

Alle grandi conquiste dal punto di vista tecnico Poincaré intreccia però uno spirito critico genuinamente filosofico. Nel monumentale *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (in 3 voll., 1892, 1893, 1899) leggiamo, per esempio: "Il vero scopo della meccanica celeste non è quello di calcolare le efemeridi, perché ci si potrebbe accontentare allora di una previsione a breve scadenza, ma di chiarire se la legge di Newton sia sufficiente per rendere ragione di tutti i fenomeni". Sarà uno dei temi portanti della sua vita di studioso. Fisico e matematico dei più creativi, affascinato dai problemi posti dall'elettromagnetismo e dall'ottica, rifondatore di intere branche della matematica come l'*Analysis situs* o topologia, protagonista indiscusso della teoria delle funzioni a variabili reali e complesse, Poincaré non concepisce il suo grande impegno nel campo della scienza e della tecnica (si appassionerà, per esempio, alla "telegrafia senza fili") avulso da una riflessione epistemologica sulla natura dei principi della matematica e della fisica, nonché sulla struttura delle teorie. Nell'arco di una decina d'anni pubblica, perlopiù sulla *Revue de métaphysique et de morale*, numerosi saggi (alcuni dei quali confluiranno nel volume *La science et l'hypothèse*, del 1902) in cui precisa la concezione comunemente chiamata "convenzionalismo" (geometrico e fisico). L'attenzione per le geometrie non euclidee, almeno a partire dalle fondamentali acquisizioni di Nikolaj Ivanovič Lobčevskij (1793-1856) e di János Bolyai (1802-1860) – la cosiddetta "geometria iperbolica" –, e soprattutto lo studio dei lavori di Bernhard Riemann (1826-1866) e di Sophus Lie (1842-1899), lo avevano indotto già in una memoria del 1887 ("Sur les hypothèses fondamentales de la géométrie") a interrogarsi sulla natura degli assiomi geometrici e a denunciare i limiti sia dei "filosofi razionalisti" sia di quelli "empiristi". Per Poincaré, infatti, il kantiano ricorso a un "intuizione pura" dello spazio si trova in scacco di fronte alla possibilità di geometrie diverse coerenti logicamente tanto quanto la geometria d'Euclide. Ma se l'approccio trascendentale vacilla (su questo punto sosterrà una dura polemica con Bertrand Russell, dopo la pubblicazione nel

1897 di *An Essay on the Foundations of Geometry* da parte di quest'ultimo), non migliore pare una concezione empiristica della geometria come quella a suo tempo propugnata da John Stuart Mill. Come si legge in un articolo del 1891 ("Les géométries non-euclidiennes"), ripreso nel capitolo di *La science e l'ipotesi* da cui sono tratte alcune delle pagine qui riportate, una simile posizione dovrebbe soddisfare per Poincaré a un compito irrealizzabile: mostrare "che certi fenomeni, possibili nello spazio euclideo, sarebbero impossibili in uno spazio non euclideo, in modo che l'esperienza, nel constatare questi fenomeni, risulterebbe in contraddizione diretta con l'ipotesi non euclidea". In altri termini, non si dà alcun esperimento cruciale in grado di determinare la "vera geometria" del mondo. Anzi, la stessa richiesta di una "vera" geometria pare a Poincaré insensata, una volta riconosciuto che gli assiomi geometrici non sono né giudizi sintetici *a priori* né generalizzazioni empiriche, bensì *convenzioni*. "Una geometria non può essere più vera di un'altra; essa può essere soltanto più comoda." E lo stesso discorso vale anche per i "principi" della meccanica, a partire da quello di inerzia: anche se "dapprima ci sembreranno delle verità sperimentali [...], siamo obbligati a servircene come definizioni", le quali, pur suggerite dall'esperienza, non potranno mai essere "rovesciate". In tal modo, per Poincaré è possibile dar ragione della "generalità" e della "certezza" dei principi – qualità che mancano alle "verità sperimentali" – senza però cadere in una posizione "nominalistica" come quella di Edouard Le Roy (1870-1954), che finisce per "generalizzare troppo", estendendo all'intera scienza la convenzionalità dei principi e non riconoscendo la genesi empirica di questi ultimi.

Più in generale, Poincaré criticherà a varie riprese la concezione di Le Roy per cui la scienza non sarebbe altro che un insieme di legole d'azione senza alcuna pretesa di verità – un'impresa in cui sia "le legole" sia "i fatti" sono per intero artefatti umani, prodotti in modo convenzionale e per scopi esclusivamente pratici. Di contro, Poincaré resterà realista sulle relazioni tra i fatti, ritenendo che "solo l'esperienza possa insegnarci qualcosa di nuovo". Scriverà, per esempio, nel 1905: "non posso ammettere che lo scienziato crei liberamente il fatto scientifico, poiché è il fatto brutto che glielo impone" (e i "fatti scientifici" non sono altro che "fatti bruti tradotti in un linguaggio comodo"). La convenzione non riguarda allora l'esperienza in sé (i fatti bruti) ma il linguaggio con cui tale esperienza viene espressa. Quanto alle leggi, esse colgono le "invariance fondamentali" sottostanti le stesse diversità linguistiche delle varie espressioni.

Pochi anni dopo *La scienza e l'ipotesi*, Poincaré rivede la stessa interpretazione convenzionalistica dei principi della meccanica. In una conferenza tenuta nel 1904 (e poi pubblicata in *La valeur de la science*, 1905), preso atto degli importanti risultati sperimentali ottenuti (1902-1903) da Walter Kaufmann (1871-1947) sulla massa degli elettroni emessi ad alta velocità da sali di radio (i cosiddetti raggi catodici), che implicavano tra l'altro "la caduta del principio di Lavoisier [della conservazione della mas-

sa], il quale trascina con sé anche il principio di Newton", Poincaré afferma di essersi convinto della legittimità dei dubbi sulla meccanica newtoniana avanzati da scienziati come Hendrik Antoon Lorentz (1835-1928), e riconosce che, se Lorentz avesse ragione, "uscirebbe una meccanica interamente nuova che sarebbe caratterizzata dal fatto che nessuna velocità potrebbe superare quella della luce". L'anno successivo formula sostanzialmente un analogo della teoria einsteiniana della relatività, e in un lavoro seminale sempre del 1905, dopo aver concepito le leggi dell'elettromagnetismo come invarianti rispetto al gruppo delle cosiddette trasformazioni di Lorentz (e non più rispetto a quello detto usualmente di Galileo-Newton), immagina che tipo di gravitazione si avrebbe posto che anch'essa fosse invariante rispetto a quelle trasformazioni, ipotizzando che una simile teoria consentirebbe di spiegare in modo eccellente un'anomalia della meccanica newtoniana: il perielio di Mercurio.

Benché il suo "comodismo" sia stato interpretato da fisici e filosofi come una posizione conservatrice, e tale sembra considerarlo anche Popper in alcune pagine della sua *Logica*, nella pratica scientifica Poincaré si rivela uno degli scienziati più genialmente innovativi della sua epoca, ben consapevole che la storia della scienza comporta insieme conquiste e perdite. Del resto, basterebbe ricordare che nei suoi ultimi anni Poincaré si dichiara disposto ad accettare la novità concettuale emersa con il quanto d'azione di Planck (dopo aver cercato una versione equivalente, ma più classica della teoria quantistica, prende atto delle difficoltà del tentativo e opta per quest'ultima). Né bisogna dimenticare che nel contesto delle sue ricerche di meccanica celeste (e segnatamente del problema dei tre corpi) Poincaré aveva fornito, come scrive Umberto Bottazzini (1999), "la prima descrizione di un comportamento caotico in un sistema dinamico. Un risultato [che...] andava a incrinare una fiducia radicata" nella predicibilità dell'evoluzione del sistema. La comunità scientifica si imbatteva così in fenomeni che sembravano "casuali" perché "ribelli" a "leggi armoniose". In un articolo del 1907 (poi diventato un capitolo di *Science et méthode*, 1908) Poincaré, tenendo conto anche delle proprie riflessioni in teoria della probabilità e in terminologia, definisce "casuale" qualsiasi processo in cui "una causa minima determina un effetto considerevole, del quale non possiamo non accorgerci". Di fatto in quelle pagine Poincaré, a detta di Claudio Bartocci (1995), "non solo tratta esempi divenuti oggi veri e propri paradigmi, quali la dinamica di un gas composto di sfere elastiche o la circolazione atmosferica [...], ma si spinge a enunciare con chiarezza la cosiddetta dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali" (si pensi, diceva allora Poincaré, a un cono appoggiato sulla punta come una trottoia – se fosse perfettamente simmetrico, soggetto solo alla forza di gravità, e il suo asse fosse perfettamente verticale, esso resterebbe in quell'instabile equilibrio; ma è sufficiente anche una variazione piccolissima delle condizioni iniziali per farlo cadere. In quale direzione, vi sfidiamo a prevederlo).

Le pagine che seguono sono tratte da J.-H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris 1907², tr. it. *La scienza e l'ipotesi*, in *Opere epistemologiche*, a cura di G. Boniolo, 2 voll., Piovani, Abano Terme 1989, vol. I, pp. 53-234, in particolare pp. 93-95, 124, 125-129, 150-157.

Di Poincaré si vedano anche: *Scienza e metodo*, tr. it. a cura di C. Bartocci, Einaudi, Torino 1997; *Geometria e caso. Scritti di matematica e fisica*, tr. it. a cura di C. Bartocci, Bollati Boringhieri, Torino 1995; *Scritti di fisica matematica*, tr. it. a cura di U. Sanzo, UTET, Torino 1993.

Per approfondire: AA.VV., *Contributions à l'histoire des mathématiques au XIX^e siècle*, vol. 4, quaderno 1, di *Philosophia Scientiae*, Kimé, Paris 2000; E. Agazzi e D. Palladino, *Le geometrie non euclidee e i fondamenti della geometria*, La Scuola, Brescia 2000 (nuova edizione); J. Barrow-Green, *Poincaré and the Three Body Problem*, American Mathematical Society, Providence 1997; C. Bartocci, "Equazioni e orbite celesti: gli albori della dinamica", in H. Poincaré, *Geometria e caso*, cit., pp. VII-L; L. Boi, D. Flament e J.-M. Salanskis (a cura di), 1830-1930. *A Century of Geometry*, Springer, Berlin-Heidelberg 1992; U. Bottazzini, *Poincaré. Il cervello delle scienze razionali*, Le Scienze, Milano 1999; A. Dahan Dalmedico, J.L. Chauber e K. Chemla (a cura di), *Chaos et déterminisme*, Seul, Paris 1992; L.E.J. Brouwer, *Lezioni sull'intuizionismo*, a cura di D. Van Dolen, tr. it. Boringhieri, Torino 1983; J. Giedymin, *Science and Convention. Essays on Henri Poincaré's Philosophy of Science and the Conventionalist Tradition*, Pergamon, Oxford 1982; A. Milani, "Stabilità/instabilità", in *Enciclopedia*, vol. XIII, Einaudi, Torino 1981, pp. 418-452; P. Parrini, *Fisica e geometria dall'Ottocento a oggi*, Loescher, Torino 1979; Id., *Empirismo logico e convenzionalismo*, Franco Angeli, Milano 1983; I. Peterson, *Newton's Clock. Chaos in the Solar System*, Freeman, New York 1993; J.-C. Pont, *La topologie algébrique des origines à Poincaré*, Presses Universitaires de France, Paris 1974; D. Ruelle, *Chaos e caso*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1992; U. Sanzo, *Poincaré e i filosofi*, Miliella, Bari 2000; J. Vaillentin, "Poincaré's Philosophy of Space", in P. Suppes (a cura di), *Space, Time and Geometry*, Reidel, Dordrecht 1973; E. Zahar, *Einstein's Revolution. A Study in Heuristic*, Open Court, La Salle (Ill.) 1989, pp. 149-200.



La maggior parte dei matematici considera la geometria di Lobachevskij una semplice curiosità logica; tuttavia, qualcuno di loro è andato oltre. Dato che parecchie geometrie sono possibili, è certo che quella vera sia la nostra? Senza dubbio l'esperienza ci insegna che la somma degli angoli di un triangolo è uguale a due angoli retti, ma ciò è perché non operiamo che su triangoli troppo

piccoli; la differenza, dopo Lobachevskij, è proporzionale alla superficie del triangolo: non potrebbe tale differenza divenire sensibile qualora operassimo su triangoli più grandi o quando le nostre misure divenissero più precise? Se così fosse la geometria euclidea sarebbe una geometria provvisoria.

Per discutere questa tesi, dobbiamo prima chiederci quale sia la natura degli assiomi geometrici.

Sono questi dei giudizi sintetici *a priori*, come diceva Kant?

Allora essi si imporrebbero a noi con una tale forza che non potremmo concepirne la negazione, né costruire su di essa un edificio teorico. Non ci sarebbero geometrie non euclidee.

Per convincersene, si prenda un vero giudizio sintetico *a priori*, per esempio [...]: “*Se un teorema è vero per il numero 1, se si è dimostrato che è vero per $n + 1$, a condizione che lo sia per n , sarà vero per tutti i numeri interi positivi*”.

Si cerchi poi di sottrarsi e di fondare, negando questa proposizione, una falsa aritmetica analoga alla geometria non euclidea, non vi si potrà giungere; si sarà anzi tentati a prima vista di considerare analitico un giudizio come quello sopra riportato.

[Immaginiamoci ora...] degli animali senza spessore; possiamo mai ammettere che questi esseri, se hanno l'intelligenza formata come la nostra, adotterebbero la geometria euclidea che è contraddetta da tutta la loro esperienza?

Dobbiamo perciò concludere che gli assiomi geometrici sono verità sperimentali? Ma non si sperimenta su delle rette o su delle circonferenze ideali; si sperimenta solo su oggetti materiali. Su cosa verterebbero, dunque, le esperienze che servissero da fondamento alla geometria? La risposta è facile.

[...] Si ragiona costantemente come se le figure geometriche si comportassero alla maniera dei solidi. Ciò che la geometria vorrebbe in prestito dall'esperienza sarebbero, quindi, le proprietà di questi corpi.

Le proprietà della luce e la sua propagazione rettilinea sono state [...] l'occasione dalla quale sono venute alcune proposizioni della geometria e, in particolare, quelle della geometria proiettiva, in modo che, da questo punto di vista, si sarebbe tentati di dire che la geometria metrica è lo studio dei solidi e che la geometria proiettiva è lo studio della luce.

Ma sussiste una difficoltà, ed è insormontabile. Se la geometria

fosse una scienza sperimentale, non sarebbe una scienza esatta, sarebbe sottoposta a una continua revisione. Che dico? Sarebbe già oggi colpevole di errore, dato che sappiamo che non esiste solido rigorosamente invariabile.

Perciò gli assiomi non sono giudizi sintetici a priori, né fatti sperimentali.

Sono delle *convenzioni*; la nostra scelta fra tutte le convenzioni possibili è *guidata* da fatti sperimentali; ma rimane *libera* ed è limitata solo dalla necessità di evitare ogni contraddizione. È così che i postulati possono rimanere *rigorosamente* veri anche quando le leggi sperimentali che hanno determinato la loro adozione sono approssimate.

In altri termini, *gli assiomi della geometria* (non parlo di quelli dell'aritmetica) *sono definizioni camuffate*.

Cosa bisogna, allora, pensare di questa domanda: “È vera la geometria euclidea?”

Essa non ha alcun senso.

Come non lo ha chiedere se il sistema metrico sia vero e le antiche misure false; se le coordinate cartesiane siano vere e le coordinate polari false. Una geometria non può essere più vera di un'altra; essa può essere soltanto più *comoda*.

Ora, la geometria euclidea è e resterà sempre la più comoda:

1. Perché è la più semplice; ed essa non è tale solo rispetto alle nostre abitudini intellettuali o per non so quale intuizione diretta che noi avremmo dello spazio euclideo; essa è la più semplice in sé, come un polinomio di primo grado è più semplice di uno di secondo grado; le formule della trigonometria sferica sono più complicate di quelle della trigonometria rettilinea, e sembrerebbero ancora tali a un analista che ne ignorasse il significato geometrico.

2. Perché essa si accorda abbastanza bene con le proprietà dei solidi naturali, corpi, questi, che tocchiamo con le nostre membra e che vediamo con i nostri occhi e con i quali facciamo i nostri strumenti di misura.

[...]

Gli inglesi insegnano la meccanica come una scienza sperimentale; nel continente la si espone sempre, più o meno, come una scienza deduttiva e *a priori*. Che gli inglesi abbiano ragione, non è nemmeno il caso di dirlo; ma come si è potuto perseverare per

lungo tempo in procedimenti così differenti? Perché gli scienziati continentali, che hanno cercato di sfuggire alle abitudini dei loro precursori, non hanno potuto liberarsene completamente?

D'altra parte, se i principi della meccanica non hanno altra fonte che l'esperienza, sono dunque approssimati e provvisori? Nuove esperienze ci condurranno un giorno a modificarli o anche ad abbandonarli?

Queste sono le domande che si pongono naturalmente, e la difficoltà della loro soluzione deriva soprattutto dal fatto che i trattati di meccanica non distinguono in modo chiaro ciò che è esperienza, ciò che è ragionamento matematico, ciò che è convenzione, ciò che è ipotesi.

[...]

Il principio di inerzia. Un corpo che non è sottoposto ad alcuna forza può avere solo un movimento rettilineo e uniforme.

È questa una verità che si impone *a priori* alla mente? E, se così fosse, come mai i Greci l'hanno misconosciuta? Come si sarebbe potuto credere che il movimento si esaurisca non appena cessa la causa che lo aveva provocato? O ancora, che ogni corpo, se nulla lo contrasta, avrà un movimento circolare, considerato il più naturale di tutti i movimenti?

Se si dice che la velocità di un corpo non può cambiare a meno che non vi sia un motivo perché essa cambi, non si potrà analogamente sostenere che la posizione di questo corpo non può cambiare, o che la curvatura della sua traiettoria non può mutare a meno che una causa esterna non venga a modificarla?

Il principio di inerzia, che non è una verità *a priori*, è dunque un fatto sperimentale? Ma si è mai sperimentato su dei corpi sottratti all'azione di ogni forza, e, se lo si è fatto, come si è saputo che questi corpi non erano sottoposti ad alcuna forza? Normalmente si cita l'esempio di una biglia che rotola per un tempo molto lungo su una tavola di marmo; ma perché diciamo che non è sottoposta a nessuna forza? E perché è troppo lontana da tutti gli altri corpi per cui essi non possono esercitare qualche azione sensibile? Tuttavia, essa non è lontana dalla Terra più di quanto lo sarebbe se fosse lanciata liberamente in aria; e ognuno sa che in questo caso subirebbe l'influenza della gravità dovuta all'attrazione della Terra.

I professori di meccanica hanno l'abitudine di passare rapida-

mente all'esempio della biglia; ma aggiungono che il principio di inerzia è verificato indirettamente dalle sue conseguenze. Si esprimono male; evidentemente, vogliono dire che si possono verificare diverse conseguenze di un principio più generale, di cui quello di inerzia non è che un caso particolare.

Proporrei per questo principio generale il seguente enunciato: l'accelerazione di un corpo non dipende che dalla sua posizione, da quella dei corpi vicini, nonché dalla loro velocità.

I matematici direbbero che i movimenti di tutte le molecole materiali dell'Universo dipendono da equazioni differenziali di secondo grado.

Per far comprendere che proprio questa è la generalizzazione naturale della legge di inerzia, mi si conceda una finzione. La legge di inerzia, l'ho detto sopra, non si impone a noi *a priori*; altre leggi sarebbero, tanto bene quanto essa, compatibili con il principio di ragion sufficiente. Se un corpo non è sottoposto ad alcuna forza, invece di supporre che la sua velocità non cambi, si potrebbe supporre che è la sua posizione, o ancora, la sua accelerazione che non deve cambiare.

Ebbene, immaginiamo per un momento che una di queste due leggi ipotetiche sia quella della natura e che sostituisca la nostra legge di inerzia. Quale ne sarebbe la generalizzazione naturale? Un minuto di riflessione ce lo farà vedere.

Nel primo caso, si dovrebbe supporre che la velocità di un corpo non dipenda che dalla sua posizione e da quella dei corpi vicini; nel secondo caso, che la variazione dell'accelerazione di un corpo dipenda solo dalla posizione di questo corpo e dei corpi vicini, dalla loro velocità e dalla loro accelerazione.

Oppure, per parlare in linguaggio matematico, le equazioni differenziali del movimento sarebbero di primo grado nel primo caso, e di terzo grado nel secondo caso.

Modifichiamo un po' la nostra finzione. Suppongo un mondo analogo al nostro Sistema solare, ma dove, per un caso singolare, le orbite di tutti i pianeti siano senza eccentricità e senza inclinazione. Suppongo inoltre che le masse di questi pianeti siano troppo deboli perché le loro perturbazioni reciproche siano evidenti. Gli astronomi che abitano uno di questi pianeti non mancherebbero di concludere che l'orbita di un astro non può essere che circolare e parallela a un certo piano; la posizione di un astro in un

dato momento sarebbe allora sufficiente per determinare la sua velocità e tutta la sua traiettoria. La legge di inerzia che adotterebbero sarebbe la prima delle due leggi ipotetiche di cui ho parlato.

Immaginiamo, ora, che questo sistema un giorno venga attraversato da un corpo proveniente da costellazioni lontane e dotato di grande massa e di una grande velocità. Tutte le orbite sarebbero profondamente turbate. I nostri astronomi non ne sarebbero però troppo sbalorditi; indovinerebbero che questo nuovo astro è il solo colpevole di ogni male. Ma, direbbero, una volta allontanatosi, l'ordine si ristabilirà da solo; senza alcun dubbio le distanze dei pianeti dal Sole non ritornerebbero quelle che erano prima del cataclisma, ma, quando l'astro perturbatore non ci sarà più, le orbite ritorneranno regolari.

Sarà solamente quando il corpo perturbato sarà lontano e quando le orbite, invece di ritornare circolari, diventeranno ellittiche, sarà solamente allora che questi astronomi si accorgeranno del loro errore e della necessità di rifare tutta la meccanica.

Ho un po' insistito su queste ipotesi, perché mi sembra che non si possa capire bene ciò che è la nostra legge di inerzia, se non opponendola a un'ipotesi contraria.

Ebbene, ora questa legge di inerzia generalizzata è stata verificata dall'esperienza e può esserlo? Quando Newton ha scritto i *Principia* considerava questa verità come acquisita e dimostrata sperimentalmente. Essa lo era ai suoi occhi [...] per i lavori di Galileo. Lo era anche per le stesse leggi di Keplero. Secondo queste leggi, infatti, la traiettoria di un pianeta è interamente determinata dalla sua posizione e dalla sua velocità iniziali; è questo ciò che esige il nostro principio di inerzia generalizzato.

Perché questo principio sia vero solo in apparenza, perché si possa temere un giorno di doverlo sostituire con uno dei principi analoghi che gli avevo opposto poco fa, bisognerebbe che noi fossimo stati ingannati da qualche caso sorprendente come quello che, nella funzione che ho sviluppato sopra, aveva indotto in errore i nostri astronomi immaginari.

Una simile ipotesi è troppo inverosimile perché ci si soffermi. Nessuno crederà che ci possano essere tali casi; senza dubbio la probabilità che due eccentricità siano entrambe precisamente nulle, considerando gli errori di osservazione, non è più piccola della probabilità che l'una sia appunto uguale a 0,1, per esempio,

e l'altra 0,2, sempre considerando gli errori di osservazione. La probabilità di un avvenimento semplice non è minore di quella di un avvenimento complesso; e pertanto, se il primo si produce, non potremo credere che la natura ci inganni in proposito. Essendo scartata l'ipotesi di un errore di questo genere, si può dunque ammettere che per quanto riguarda l'astronomia la nostra legge è stata verificata dall'esperienza.

Ma l'astronomia non è tutta l'intera fisica.

Non si potrebbe temere che qualche nuova esperienza arrivi un giorno a mettere la legge in difetto in qualche settore della fisica? Una legge sperimentale è sempre sottoposta alla revisione; ci si deve sempre aspettare di vederla sostituita da un'altra legge più precisa.

Tuttavia, nessuno teme seriamente che quella di cui parliamo debba mai essere abbandonata o emendata. Perché? Precisamente perché non la si potrà mai sottomettere a una prova decisiva.

Prima di tutto, perché questa prova sia completa, bisognerebbe che dopo un certo tempo tutti i corpi dell'Universo ritornassero alle loro posizioni iniziali con le loro velocità iniziali. Allora, si vedrebbe se, a partire da questo momento, riprendevano le traiettorie che avevano già seguito in precedenza.

Però questa prova è impossibile, la si può fare solo in parte e, per quanto la si faccia, ci sarà sempre qualche corpo che non ritornerà alla sua posizione iniziale, così ogni deroga alla legge troverà con facilità la sua spiegazione.

Questo non è tutto; in astronomia, noi *vediamo* i corpi di cui studiamo i movimenti, e spessissimo ammettiamo che non subiscono l'azione di altri corpi invisibili. In queste condizioni, bisogna che la nostra legge si verifichi o non si verifichi.

Ma in fisica non è la stessa cosa: se i fenomeni fisici sono dovuti a dei movimenti, sono movimenti di molecole che noi non vediamo. Se, allora, l'accelerazione di uno dei corpi che vediamo ci sembra dipendere da *altro* che dalle posizioni o dalle velocità degli altri corpi visibili o dalle molecole invisibili di cui siamo stati condotti ad ammettere prima l'esistenza, nulla ci impedirà di supporre che questo *altro* sia la posizione o la velocità di altre molecole di cui non avevamo supposto fino a ora l'esistenza. La legge si troverà così salvaguardata.

[...]

I principi della meccanica ci si presentano [...] sotto due aspetti differenti. Da una parte, sono delle verità fondate sull'esperienza e verificate in maniera approssimata per quanto riguarda i sistemi quasi isolati. Dall'altra, sono dei postulati applicabili all'insieme dell'Universo e considerati come rigorosamente veri.

Se questi postulati possiedono una generalità e una certezza che fanno difetto alle verità sperimentali da cui derivano, è perché si riducono in ultima analisi a una semplice convenzione che abbiamo il diritto di fare, in quanto siamo già prima sicuri che nessuna esperienza verifichi la contraddittoria.

Questa convenzione non è pertanto assolutamente arbitraria; non nasce da un nostro capriccio; l'adottiamo perché alcune esperienze ci hanno dimostrato che sarà più comoda.

Così si spiega come l'esperienza abbia potuto edificare i principi della meccanica, e perché tuttavia non li potrà rovesciare.

Facciamo un paragone con la geometria. Le proposizioni fondamentali della geometria, come per esempio il postulato di Euclide, non sono che delle convenzioni, ed è altrettanto irragionevole cercare se sono vere o false, quanto lo è chiedere se il sistema metrico è vero oppure è falso.

Possiamo solamente dire che queste convenzioni sono comode, e questo ce lo insegnano alcune esperienze.

Al primo approccio, l'analogia è completa; il ruolo dell'esperienza sembra lo stesso. Si sarà dunque tentati di dire: o la meccanica deve essere considerata come una scienza sperimentale, e allora deve essere lo stesso per la geometria; oppure al contrario la geometria è una scienza deduttiva, e allora si può dire altrettanto della meccanica.

Una simile conclusione sarebbe illegittima. Le esperienze che ci hanno portato ad adottare, perché più comode, le convenzioni fondamentali della geometria vertono su argomenti che non hanno nulla in comune con quelli che studia la geometria; esse vertono sulle proprietà dei corpi solidi, sulla propagazione rettilinea della luce. Queste sono esperienze della meccanica, esperienze dell'ottica; per nessun motivo le si possono considerare come esperienze della geometria. E anche la principale ragione per cui la nostra geometria ci sembra comoda è che le diverse parti del nostro corpo, il nostro occhio, le nostre membra, godono esattamente delle proprietà dei corpi solidi. A questo riguardo, le no-

stre esperienze fondamentali sono prima di tutto delle esperienze fisiologiche, che vertono non sullo spazio che è l'oggetto che deve studiare il geometra, ma sul corpo, cioè sullo strumento di cui deve servirsi per questo studio.

Al contrario, le convenzioni fondamentali della meccanica e le esperienze che ci dimostrano che esse sono comode, vertono sugli stessi oggetti e su oggetti analoghi. I principi convenzionali e generali sono la generalizzazione naturale e diretta dei principi sperimentali e particolari.

Non si dica che in questo modo delinea delle frontiere artificiali fra le scienze; se separo per mezzo di una barriera la geometria propriamente detta dallo studio dei corpi solidi, potrei anche elevarne una tra la meccanica sperimentale e la meccanica convenzionale dei principi generali. Chi, infatti, non vede che separando queste due scienze nullo sia l'una sia l'altra e che quello che resterà della meccanica convenzionale, quando essa sarà isolata, sarà ben poca cosa, e non potrà essere paragonata affatto a quel superbo corpo di dottrina che viene denominato geometria?

Ora si capisce perché l'insegnamento della meccanica deve restare sperimentale.

È solamente così che esso potrà farci capire la genesi della scienza, e questo è indispensabile per la comprensione completa della scienza stessa.

D'altronde, se si studia la meccanica, è per applicarla; e la si può applicare solamente se rimane oggettiva. Ora, come abbiamo visto, quello che i principi acquistano in generalità e in certezza, lo perdono in oggettività. E, quindi, soprattutto con la parte oggettiva dei principi che bisogna familiarizzarsi presto, e lo si può fare solo andando dal particolare al generale, invece di percorrere la strada inversa.

I principi sono delle convenzioni o delle definizioni camuffate. Tuttavia, sono derivati da leggi sperimentali, queste leggi sono, per così dire, assurde a principi cui la nostra mente attribuisce un valore assoluto.

Alcuni filosofi hanno generalizzato troppo; essi hanno creduto che i principi fossero tutta la scienza e, di conseguenza, che tutta la scienza fosse convenzionale.

Questa dottrina paradossale, che è stata chiamata nominalismo, non regge all'esame. Una legge come può diventare un prin-

cipio? Essa esprimeva un rapporto tra due termini reali A e B . Ma non era rigorosamente vera, essa non era che approssimata. Noi introduciamo arbitrariamente un termine intermedio C più o meno fittizio e C è *per definizione* ciò che ha con A esattamente la relazione espressa dalla legge.

La nostra legge, allora, si è scomposta in un principio assoluto e rigoroso che esprime il rapporto di A con C e una legge sperimentale approssimata e suscettibile di revisione, che esprime il rapporto di C con B . Per quanto lontano si spinga questa scomposizione, è chiaro che rimarranno sempre delle leggi.

Pierre Duhem

Critica dell'esperimento (cruciale) e controllo delle teorie

In un celebre passo dei *Principia*, Newton aveva sostenuto di aver "dedotto dai fenomeni" la sua legge della gravità. A ben vedere i "fenomeni" che Newton aveva in mente nella sua grandiosa sintesi di meccanica celeste e terrestre non sono altro che la legge della caduta dei gravi di Galileo e le tre leggi di Keplero (1571-1630). In *La théorie physique* (1904-1905) Pierre Duhem (1861-1916) contesta tale "deduzione": "il principio della gravitazione universale, ben lungi dal potersi ricavare [...] per generalizzazione e induzione dalle leggi di osservazione, le contraddice formalmente". Si tratta di un caso destinato a rimanere esemplare nella filosofia della scienza del Novecento (vedi le analisi di Neurath e di Popper che, curiosamente, si servono dell'esempio l'uno contro l'altro). Come Mach e Poincaré, Duhem è uno dei grandi critici dell'"induttivismo newtoniano"; ma il suo quadro concettuale si differenzia alquanto sia dall'empirismo radicale dell'uno sia dal convenzionalismo dell'altro, come traspare dalle pagine in cui espone la tesi secondo la quale "il fisico non può mai sottoporre a controllo un'ipotesi, ma soltanto tutto un insieme di ipotesi". Duhem prende qui le distanze sia dalla concezione dell'economia di Mach, che porterebbe a una sorta di conservatorismo intellettuale, sia dal *commodisme* di Poincaré, che sembrerebbe implicare che alcuni principi teorici, per esempio i principi della meccanica newtoniana, siano incontrovertibili per via sperimentale e resi veri per convenzione. Di contro, Duhem ritiene che la stessa legge di gravità di Newton non sia che "provvisoria", destinata forse un giorno a essere modificata, se non del tutto abbandonata, al fine di mantenere un buon accordo con l'esperienza.

È perlomeno curioso che, quando questa teoria fu rimpiazzata dalla relatività generale di Einstein (vedi pp. 147-149), Duhem non fece appello ad alcun "buon senso [*bon sens*]" o "acutezza [*sagesse*]" per optare in favore della novità concettuale; anzi, nella *Science allemande* (1915) bollerà la relatività einsteiniana come un "aberrante" prodotto della mente germanica incapace di giudizi equilibrati e irrispettosa della realtà. Questo conservatorismo di fatto, che gli causò critiche e censure da parte dei suoi immediati contemporanei e che pare quasi contrariare con la sua idea del-

la rivedibilità dei principi (si veda per l'intera questione l'esemplare prefazione anteposta all'edizione in lingua inglese della *Teoria fisica*, pubblicata a Princeton nel 1954, dal grande fisico Louis de Broglie), non deve far dimenticare che l'argomento (poi noto come "tesi di Duhem") circa il carattere *adjuncto* globale del controllo empirico (si veda la sua disamina dell'esperimento cruciale e la si confronti con quella di Herschel a pp. 23-26) suona come una critica *ante litteram* sia del verificazionismo del Circolo di Vienna sia del falsificazionismo di Popper. A circa mezzo secolo di distanza Quine (vedi pp. 270, 275-278) riprenderà l'argomento duhemiano (sicché nella letteratura esso è talvolta citato come "tesi di Duhem-Quine"). Ma come ha mostrato una rigorosa analisi, quale quella condotta da Jules Vuillemin (1979), l'argomento di Quine si estende all'intera totalità della scienza, incluse la logica e la matematica, mentre quello di Duhem sembra valere solo per la scienza fisica, tanto che egli stesso si guarda dall'applicarlo alle scienze del vivente. Sono d'altra parte le teorie fisiche (o al più fisico-chimiche) quelle al centro del suo capolavoro del 1904-1905. Per Duhem il controllo di tali teorie deve anche tenere conto del fatto che quello che l'esperienza ci permette di "fissare" (nell'osservazione o nell'esperimento) è sempre un "fascio di fatti teorici", sicché quando si sottoponga a elaborazione calcolistica un tale "fascio" il risultato è ancora un altro "fascio di fatti teorici" e può capitare che, "per quanto si assottigli in definitivamente il primo fascio, non si sia in grado di ridurre quanto si vuole la divergenza dei fili del secondo". Duhem ha in mente l'esempio "molto sorprendente", tratto dalla meccanica e individuato dal matematico Jacques Hadamard (1865-1963), di un sistema di equazioni differenziali in cui la soluzione (il "secondo fatto teorico") è fortemente sensibile alle condizioni iniziali (il "primo fatto teorico") – per cui questo tipo di "deduzioni matematiche" si rivelerebbe inefficace sotto il profilo della predizione rigorosa di "fatti" da "ipotesi". Ad analoghe conseguenze giungerebbe secondo Duhem una disamina del "problema della stabilità del Sistema solare" che Laplace credeva di aver risolto e del quale è stata provata l'estrema difficoltà nei tentativi condotti dai geometri moderni, e in particolare da Poincaré. Proprio quelle "difficoltà" dovevano venire utilizzate da Duhem per respingere come cattiva metafisica il determinismo universale di Laplace (ne abbiamo incontrata una versione particolarmente pregnante in Mill, p. 31) e rinnovare la tradizionale concezione della libertà del volere o "libero arbitrio".

Infine, occorre ricordare che per Duhem (in questo non dissimile da Mach e Poincaré), come già per Whewell, non si dà filosofia della scienza senza storia della scienza; e se la pura "analisi logica" delle teorie porta alla conclusione "scettica" per cui le teorie sono "classificazioni artificiali", l'indagine storica, ponendo in luce lo sviluppo continuo delle idee scientifiche, suggerisce al "buon senso" un'immagine "realistica" delle teorie stesse, che sembrano evolvere verso una "classificazione naturale". Peraltro, il "conti-

nismo" che spinge Duhem nel *Système du monde* (1913-1917) a collegare Leonardo da Vinci, Copernico, Galileo ecc., ai loro "precursori" medievali, riducendone per certi versi l'originalità, sarà apprezzato da Enriques, convinto anch'egli che l'opera dello storico (della scienza) riveli come nel tempo si dispieghi la sostanziale unità della ragione umana.

Le pagine che seguono sono tratte da P. Duhem, *La théorie physique: son objet et sa structure* (1904-1905), Chevalier et Rivière, Paris 1906, 1914; tr. di D. Ripa di Meana, *La teoria fisica, il suo oggetto e la sua struttura*, a cura di S. Petruccioli, il Mulino, Bologna 1978, pp. 211-220, 225, 243-245.

Di Duhem si vedano anche: *Salvare i fenomeni* (1908), tr. it. Borla, Roma 1986; *La science allemande*, A. Hermann, Paris 1915; *Le système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 voll., A. Hermann, Paris 1913-1917.

Per approfondire: R. Abraham e J.E. Marsden, *Foundations of Mechanics*, The Benjamin-Cummings Publishing Company, Reading (Mass.) 1978; in particolare p. XIX; A. Brenner, *Duhem. Science, réalité et apparence*, Vrin, Paris 1990; P. Caldirola e G. Casati, "Fisica", in *Enciclopedia*, vol. XV, Einaudi, Torino 1982, pp. 256-265; J. Hadamard, "Les surfaces à courbures opposées et lignes géodésiques", in *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 4 (1898), pp. 729-775; S. Harding, *Can Theories be Refuted? Essays on the Duhem-Quine Thesis*, Reidel, Dordrecht-Boston 1976; S.L. Jaki, *Pierre Duhem. Homme de science et de foi*, Beauchesne, Paris 1990; R. Maiocchi, *Chinica e filosofia. Scienza, religione ed epistemologia*, La Nuova Italia, Firenze 1985; Id., "Pierre Duhem's *The Aim and Structure of Physical Theory*: a Book against Conventionalism", in *Synthese*, 83 (1990), pp. 385-400; R.N.D. Martin, *Philosophy and History in the Work of a Believing Physicist*, Open Court, La Salle (Ill.) 1991; M. Motterlini, *La sfida di Duhem*, Università degli Studi di Ferrara, Ferrara 1997; P. Redondi, *Epistemologia e storia della scienza. Le svolte teoriche da Duhem a Bachelard*, Feltrinelli, Milano 1978; J. Vuillemin, "On Duhem's and Quine's Theses", in *Grazer Philosophische Studien*, 9 (1979), pp. 69-96, ora anche in L.E. Hahn e P.A. Schilpp (a cura di), *The Philosophy of W.V. Quine*, Open Court, La Salle (Ill.) 1986, pp. 595-618.



[II] fisico non può mai sottoporre al controllo dell'esperienza un'ipotesi isolata, ma soltanto tutto un insieme di ipotesi. Quando l'esperienza è in disaccordo con le sue previsioni, essa gli insegna che almeno una delle ipotesi costituenti l'insieme è inaccettabile e deve essere modificata, ma non gli indica quale dovrà essere cambiata. Eccoci ben lontani dal metodo sperimentale come volentieri

lo concepisce chi è estraneo al suo funzionamento. Si pensa comunemente che ogni ipotesi di cui la fisica fa uso possa essere presa isolatamente e sottoposta al controllo dell'esperienza; e che poi, quando prove svariate e molteplici ne hanno constatato il valore, possa essere collocata in modo definitivo nel sistema della fisica. In realtà non è così. La fisica non è una macchina che si lascia smontare, non si può verificare ogni pezzo isolatamente e attendere, per ripartirli, che la solidità ne sia stata minuziosamente controllata. La scienza fisica è un sistema che bisogna prendere nella sua interezza, è un organismo di cui non si può far funzionare una parte senza che quelle più lontane entrino in gioco le une di più, le altre di meno, ma tutte in qualche misura. Se si rivela qualche intoppo, qualche disfunzione nel suo funzionamento, è attraverso l'effetto prodotto sul sistema nel suo insieme che il fisico dovrà indovinare l'organo che ha bisogno di essere rettificato o modificato, senza che gli sia possibile isolare l'organo ed esaminarlo a parte. [...]

Insistiamo ancora perché stiamo toccando uno dei punti essenziali del metodo sperimentale utilizzato nella fisica. La riduzione all'assurdo, che sembra essere solo un mezzo di confutazione, può diventare un metodo di dimostrazione. Per dimostrare che una proposizione è vera, è sufficiente spingere a una conseguenza assurda chi ne ammettesse la negazione; è noto quale vantaggio i geometri greci abbiano tratto da questo modo di dimostrazione. Quanti associano la contraddizione sperimentale alla riduzione all'assurdo pensano che, in fisica, sia possibile usare un argomento simile a quello usato da Euclide così frequentemente in geometria. Volete ottenere una spiegazione teorica certa, incontestabile, di un gruppo di fenomeni? Elencate tutte le ipotesi che si possono fare per rendere conto del gruppo di fenomeni, poi, con la contraddizione sperimentale, eliminatele tutte eccetto una: quest'ultima cesserà di essere un'ipotesi per diventare una certezza. Supponete, in particolare, che esistano soltanto due ipotesi, e cercate condizioni sperimentali tali che l'una annunci la produzione di un fenomeno e l'altra la produzione di un fenomeno completamente diverso; realizzate le condizioni e osservate cosa succede. A seconda che osserviate il primo dei fenomeni previsti o il secondo, condannerete la seconda ipotesi o la prima. Quella che non sarà condannata sarà ormai incontestabile, il dibattito sarà troncato, una nuova verità sarà acquisita alla scienza. Questa è la prova sperimentale che l'autore del *Novum Organum* ha

denominato: "*fatto della croce*, traendo questa espressione dalle croci che, agli angoli delle strade, indicano le diverse direzioni".

Esistono due ipotesi riguardanti la natura della luce. Per Newton, Laplace e Biot, la luce consiste in proiettili lanciati a grandissima velocità; per Huygens, Young e Fresnel, la luce consiste in vibrazioni le cui onde si propagano all'interno di un etere. Le due ipotesi sono le uniche di cui si intravede la possibilità: o il movimento è trascinato dai corpi che esso anima e al quale resta legato, oppure passa da un corpo a un altro. Seguiamo la prima ipotesi. Essa ci annuncia che la luce cammina più veloce nell'acqua che nell'aria; scegliamo la seconda: essa ci dice che la luce cammina più veloce nell'aria che nell'acqua. Montiamo l'apparecchio di Foucault e mettiamo in movimento lo specchio girevole. Sotto i nostri occhi vediamo formarsi due macchie luminose, l'una incolore e l'altra verdastria. Se la banda verdastria si trova a sinistra di quella incolore ciò sta a significare che la luce cammina più veloce nell'acqua che nell'aria e che l'ipotesi ondulatoria è falsa. Al contrario, se la banda verdastria è a destra della banda incolore, ciò sta a significare che la luce cammina più veloce nell'aria che nell'acqua e che l'ipotesi ondulatoria è condannata. Se poniamo l'occhio dietro la lente con cui esaminiamo le due macchie luminose, constateremo che la macchia verdastria si trova a destra di quella incolore. La disputa è risolta, la luce non è un corpo ma un movimento vibratorio propagato dall'etere. L'ipotesi dell'emissione è morta, quella ondulatoria non può essere messa in dubbio. L'esperimento cruciale ne ha fatto un nuovo articolo del *credo* scientifico.

Ciò che abbiamo detto prima mostra però quanto sbagliaremmo se attribuiamo all'esperimento di Foucault un significato tanto semplice e una portata tanto decisiva. L'esperimento di Foucault non decide tra le due ipotesi dell'emissione e delle onde, ma tra due sistemi teorici ciascuno dei quali deve essere preso in blocco, tra due sistemi completi, l'ottica di Newton e l'ottica di Huygens. Ma ammettiamo, per un istante, che in ciascuno dei sistemi tutto sia obbligato, tutto possieda una necessità logica salvo una sola ipotesi; ammettiamo di conseguenza che i fatti, condannando uno dei due sistemi, condannino a colpo sicuro la sola supposizione dubbiosa che esso abbia. Ma risulta che si può trovare nell'*experimentum crucis* un procedimento irrefutabile per trasformare in verità dimostrata una delle due ipotesi presenti, allo stesso modo

che la riduzione all'assurdo di una proposizione geometrica conferisce la certezza alla proposizione contraddittoria? Tra due teoremi di geometria tra loro contraddittori non c'è posto per un terzo giudizio: se l'uno è falso, l'altro è necessariamente vero. Due ipotesi di fisica costituiscono mai un dilemma altrettanto rigoroso? Oseremo mai affermare che non è immaginabile nessun'altra ipotesi? La luce può essere una rosa di proiettili, può essere un movimento vibatorio di cui un mezzo elastico propaga le onde; le è forse proibito essere un'altra cosa? Senza dubbio Arago lo pensava quando formulava questa netta alternativa: la luce si muove forse più veloce nell'acqua che nell'aria? "La luce è un corpo. È vero il contrario? La luce è una onda." Ci sarà difficile esprimerci in una forma così netta. Infatti Maxwell ci ha mostrato che si poteva anche attribuire la luce a una perturbazione elettrica periodica che si propagasse all'interno di un mezzo elettrico. La contraddizione sperimentale non ha, come la riduzione all'assurdo impiegata dai geometri, il potere di trasformare un'ipotesi fisica in una incontestabile verità. Per conferirle tale potere occorrerà enumerare completamente le diverse ipotesi alle quali può dar luogo un determinato gruppo di fenomeni. Il fisico non è mai sicuro di aver effettuato tutte le supposizioni immaginabili: la verità di una teoria fisica non si decide a testa o croce.

È illusorio tentare di costruire, con la contraddizione sperimentale, un'argomentazione che imiti la riduzione all'assurdo; ma per pervenire alla certezza la geometria conosce altri mezzi diversi dal procedimento *per absurdum*. La dimostrazione diretta – dove la verità di una proposizione è stabilita da se stessa e non dalla refutazione della proposizione contraddittoria – le sembra il più perfetto dei ragionamenti. Forse la teoria fisica sarebbe più felice nei suoi tentativi se cercasse di imitare la dimostrazione diretta. Le ipotesi a partire dalle quali essa svilupperà le sue conclusioni dovrebbero allora essere provate una a una. Ognuna di esse non dovrebbe essere accolta se non a condizione che presenti tutta la certezza che il metodo sperimentale può conferire a una proposizione astratta e generale, cioè a condizione che essa sia necessariamente o una legge tratta dall'osservazione con il solo uso delle due operazioni intellettuali che si chiamano induzione e generalizzazione, oppure un corollario dedotto matematicamente da tali leggi. Una teoria fondata su ipotesi di questo tipo non presenterebbe

più nulla di arbitrario né di dubbio: necessiterebbe di tutta la fiducia di cui sono degne le facoltà che ci servono a formulare le leggi naturali.

Newton preconizzava una tale teoria fisica quando nello *Scholium generale* a coronamento dei *Principia* respinse molto risolutamente dalla filosofia naturale ogni ipotesi che l'induzione non ha tratto dall'esperienza, affermando che in una sana fisica ogni proposizione deve essere tratta dai fenomeni e generalizzata per induzione. Il metodo ideale che abbiamo descritto merita dunque giustamente di essere denominato metodo newtoniano. Newton d'altronde non l'ha seguito quando ha costruito il sistema della attrazione universale, il quale ha offerto ai suoi precetti il più grandioso degli esempi? La teoria della gravitazione non si trae per intero dalle leggi rivelate dall'osservazione a Keplero, leggi che il ragionamento problematico trasforma e le cui conseguenze sono generalizzate per induzione? La prima legge di Keplero: "il raggio vettore che va dal Sole a un pianeta spazza un'area proporzionale al tempo durante il quale si osserva il movimento del pianeta" ha, in effetti, insegnato a Newton che ogni pianeta è costantemente sottoposto a una forza diretta verso il Sole. La seconda legge di Keplero: "l'orbita di ogni pianeta è un'ellisse di cui il Sole è uno dei fuochi" gli ha insegnato che la forza agente su un determinato pianeta varia con la distanza del pianeta dal Sole ed è in ragione inversa del quadrato della distanza. La terza legge di Keplero: "i quadrati dei periodi delle rivoluzioni dei diversi pianeti sono proporzionali ai cubi degli assi maggiori della loro orbita" gli ha mostrato che diversi pianeti posti alla stessa distanza dal Sole subirebbero da parte dell'astro attrazioni proporzionali alle rispettive masse. Le leggi sperimentali stabilite da Keplero, trasformate dal ragionamento geometrico, fanno conoscere tutti i caratteri dell'azione esercitata dal Sole su un pianeta. Per induzione Newton generalizza il risultato ottenuto, ammette che il risultato esprime la legge secondo la quale ogni porzione di materia agisce su qualunque altra porzione e formula questo grande principio: "Due corpi qualsiasi si attirano reciprocamente con una forza proporzionale al prodotto delle loro masse e in ragione inversa del quadrato della distanza che li separa". Il principio della gravitazione universale così trovato è stato ottenuto senza far uso di nessuna ipotesi fittizia attraverso il metodo induttivo di cui Newton ha tracciato il piano.

Riprendiamo più da vicino questa applicazione del metodo di Newton. Verifichiamo se un'analisi logica un po' severa lascerà sussistere l'apparenza di rigore e semplicità attribuita da un'espunzione troppo sommaria. Per garantire a questa discussione tutta la chiarezza necessaria, cominciamo col richiamare il principio familiare a quanti trattano di meccanica: non si può parlare della forza che sollecita un corpo in circostanze date, prima di aver indicato il riferimento, supposto fisso, al quale si rapporta il movimento di tutti i corpi. Quando si cambia il sistema di riferimento, la forza, che rappresenta l'effetto prodotto sui corpi osservati dagli altri corpi circostanti, cambia di direzione e grandezza seguendo le regole enunciate con precisione dalla meccanica. Ciò posto, seguiamo il ragionamento newtoniano. Newton anzitutto prende il Sole come sistema di riferimento immobile, considera i movimenti che animano i diversi pianeti in rapporto a esso, ammette che i movimenti sono regolati dalle leggi di Keplero e ne trae questa proposizione: se il Sole è il sistema di riferimento al quale sono rapportate tutte le forze, ogni pianeta è sottoposto a una forza diretta verso il Sole, proporzionale alla massa del pianeta e all'inverso del quadrato della sua distanza dal Sole stesso. Quanto a quest'ultimo, come sistema di riferimento, non è sottoposto a nessuna forza. Newton studia in modo analogo il movimento dei satelliti e per ciascuno di essi sceglie come sistema di riferimento immobile il pianeta affiancato dal suo satellite, la Terra se si tratta di studiare il movimento della Luna, Giove se ci si occupa delle sue lune. Leggi del tutto analoghe a quelle di Keplero sono prese come regole dei movimenti; ne risulta che si può formulare questa nuova proposizione: se si prende come sistema di riferimento immobile il pianeta che accompagna un satellite, quest'ultimo è sottoposto a una forza diretta verso il pianeta in ragione inversa del quadrato della sua distanza dal pianeta. Se, come succede per Giove, uno stesso pianeta possiede diversi satelliti, questi, portati a una stessa distanza dal pianeta, subiranno da parte di quest'ultimo forze proporzionali alle loro rispettive masse. Quanto al pianeta, esso non prova alcuna azione da parte del satellite. Queste sono, in una forma molto precisa, le proposizioni che autorizzano a formulare le leggi di Keplero relative ai movimenti dei pianeti, e la loro estensione ai movimenti dei satelliti. A queste proposizioni Newton ne sostituisce un'altra che può così enunciarsi: due corpi celesti qualsiasi eserci-

tano l'uno sull'altro un'azione attrattiva diretta secondo la retta che li unisce, proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che li separa. Tale enunciato suppone che tutti i movimenti e tutte le forze siano rapportati a uno stesso sistema di riferimento; il sistema è un riferimento ideale che il geometra può ben concepire ma di cui nessun corpo indica in modo esatto e concreto la posizione nel cielo.

Il principio della gravitazione universale è una semplice generalizzazione dei due enunciati forniti dalle leggi di Keplero e dalla loro estensione ai movimenti dei satelliti? È possibile ricavarla per induzione a partire da questi due enunciati? No, infatti essa non è soltanto più generale dei due enunciati, non è soltanto eterogenea rispetto a essi, ma è in contraddizione con essi. Se ammette il principio della attrazione universale, il meccanico può calcolare grandezza e direzione delle forze che sollecitano i diversi pianeti e il Sole, quando si prende quest'ultimo come sistema di riferimento, e si trova che le forze non sono affatto quelle che esigerebbe il nostro primo enunciato. Egli può determinare la grandezza e la direzione di ciascuna forza che sollecita Giove e i suoi satelliti, quando si rapportano tutti i movimenti al pianeta, supposto immobile, e constata che le sue forze non sono certo quelle che il nostro secondo enunciato esigerebbe. *Il principio della gravitazione universale, ben lungi dunque dal potersi ricavare per generalizzazione e induzione dalle leggi di osservazione formulate da Keplero, le contraddice formalmente. Se la teoria di Newton è esatta, le leggi di Keplero sono necessariamente false.*

Non sono dunque le leggi che Keplero trae dall'osservazione dei movimenti celesti a trasferire la loro certezza sperimentale immediata al principio della gravitazione universale poiché al contrario, se si ammettesse l'esattezza assoluta delle leggi di Keplero, si sarebbe costretti a respingere la proposizione sulla quale Newton fonda la meccanica celeste. Ben lungi dal richiamarsi alle leggi di Keplero, il fisico che pretenda di giustificare la teoria della gravitazione universale trova fin dall'inizio in quelle leggi un'obiezione da risolvere. Dovrà provare che la sua teoria, incompatibile con l'esattezza di queste leggi, sottopone i movimenti dei pianeti e dei satelliti ad altre leggi pochissimo diverse dalle prime, in quanto Tycho Brahe, Keplero e i loro contemporanei non hanno potuto discernere gli scarti che distinguono le orbite kepleriane da quelle new-

toniane. Questa prova si ricava dalla circostanza che la massa del Sole è molto più grande di quella dei vari pianeti e che la massa di un pianeta è molto più grande delle masse dei suoi satelliti. Se dunque la certezza della teoria di Newton non è un'emanazione di quella delle leggi di Keplero, come potrà questa teoria dimostrare la sua validità? Essa calcolerà, con tutta l'approssimazione che comportano i metodi algebrici perfezionati di continuo, le perturbazioni che allontanano, a ogni istante, ciascuno degli astri dall'orbita che gli assegnerebbero le leggi di Keplero; quindi confronterà le perturbazioni calcolate a quelle osservate con strumenti precissimi e con i metodi più minuziosi. Un simile confronto non pogrà soltanto su tale o tal'altra parte del principio newtoniano; la teoria richiamerà tutte le due parti e con queste anche tutti i principi della dinamica. Inoltre essa chiamerà in suo aiuto tutte le proposizioni di ottica, di statica dei gas, della teoria del calore, necessarie a giustificare le proprietà dei telescopi, per costruirli, per regolarli, per correggerli, per eliminare gli errori causati dall'aberrazione diurna o annuale e dalla rifrazione atmosferica. Non si tratta più di prendere una a una leggi giustificate dalla osservazione e innalzare ciascuna al rango di principio applicando il metodo dell'induzione e della generalizzazione, ma si tratta di confrontare i corollari di tutto un insieme di ipotesi con tutto un insieme di fatti. Se ora ricerchiamo le cause che hanno fatto fallire il metodo newtoniano nel caso per il quale era stato immaginato [...], le troveremo nel duplice carattere di ogni legge messa in opera dalla fisica teorica: questa legge è simbolica e approssimata. [...]

Soltanto la dinamica consente di sostituire [...] gli enunciati relativi alla *forza* e alla *masa* alle leggi relative alle orbite. La legittimità di una tale sostituzione implica piena fiducia nelle leggi della dinamica. Per giustificare tale fiducia non si può pretendere che le leggi della dinamica fossero fuori discussione nel momento in cui Newton le usava per tradurre simbolicamente le leggi di Keplero e che avessero ricevuto da parte dell'esperienza conferme sufficienti a ottenere l'adesione della ragione. In realtà, fino allora erano state sottoposte solo a prove ben particolari e grossolane, i loro stessi enunciati erano rimasti molto vaghi e molto impliciti; soltanto nei *Principia* sono formulati per la prima volta in modo preciso, e hanno incontrato le loro prime conferme convincenti nell'accordo dei fatti con la meccanica celeste scaturita dagli studi di Newton. Così,

la traduzione delle leggi di Keplero in leggi simboliche utili alla teoria presupponeva l'adesione del fisico a tutto un insieme di ipotesi. In più, essendo le leggi di Keplero soltanto approssimate, la dinamica consentiva di darne una infinità di traduzioni simboliche differenti. Tra le infinite forme diverse ve n'è una e una sola che si accorda con il principio di Newton. Le osservazioni di Tycho Brahe, ridotte felicemente in leggi da Keplero, consentono al teorico di scegliere questa forma; ma esse non ve lo costringono, gli avrebbero ugualmente permesso di sceglierne una infinità d'altre. Per giustificare la scelta il teorico non può dunque contentarsi di invocare le leggi di Keplero. Se egli vuole provare che il principio da lui adottato è davvero un principio di classificazione naturale per i movimenti celesti, dovrà dimostrare che le perturbazioni osservate si accordano con quelle calcolate in precedenza. Dal percorso di Urano, egli dovrà concludere l'esistenza e la posizione di un nuovo pianeta e, nella direzione assegnata, trovare Nettuno in cima al suo telescopio.

[...]

[La] critica del metodo di Newton ci porta a conclusioni cui ci aveva già condotto la critica della contraddizione sperimentale e dell'*experimentum crucis*. Le conclusioni meritano di essere formulate con chiarezza. Ecco: Tentare di separare ciascuna ipotesi della fisica teorica dalle altre supposizioni sulle quali si fonda questa scienza al fine di sottoporla da sola al controllo dell'osservazione equivale a seguire una chimera, perché la realizzazione e l'interpretazione di qualunque esperienza di fisica implicano l'adesione a tutto un insieme di proposizioni teoriche. Il solo controllo sperimentale della teoria fisica che non sia illogico consiste nel confrontare l'INTERO SISTEMA DELLA TEORIA FISICA CON TUTTO L'INSIEME DELLE LEGGI SPERIMENTALI e nel valutare se il secondo insieme è rappresentato dal primo in modo soddisfacente.

[...]

Quando l'esperienza pone in contraddizione certe conseguenze di una teoria, ci dice che essa deve essere modificata, ma non in quale direzione. Essa lascia all'intelligenza del fisico il compito di ricercare la tara che rende zoppicante l'intero sistema. Nessun principio assoluto guida questa ricerca che fisici diversi possono condurre in modi molto differenti, senza per questo sentirsi in di-

ritto di accusarsi reciprocamente di assurdità. L'uno, per esempio, può sentirsi obbligato a salvaguardare certe ipotesi fondamentali mentre tenta di ristabilire l'accordo tra le conseguenze della teoria e i fatti, complicando lo schema al quale si applicano le ipotesi, invocando cause d'errore diverse, moltiplicando le correzioni. L'altro, disdegnando procedimenti complicati, può limitarsi a cambiare alcune delle rappresentazioni essenziali che sono alla base dell'intero sistema. Il primo non ha certo il diritto di condannare in anticipo l'audacia del secondo, né il secondo quello di ritenere assurda la timidezza del primo. I metodi seguiti da entrambi non sono giudicabili se non dalla esperienza, e se entrambi soddisfanno le esigenze dell'esperienza, è *logicamente* consentito all'uno e all'altro di dichiararsi contenti dell'opera compiuta. Ciò non significa che non si possa preferire l'opera dell'uno a quella dell'altro: la logica pura non è affatto il nostro unico criterio di valutazione. Infatti, determinate opinioni pur non cadendo sotto i colpi del principio di contraddizione sono tuttavia perfettamente irragionevoli. Quei motivi che non discendono dalla logica e tuttavia indirizzano la nostra scelta, le "ragioni ignote alla ragione" che parlano all'*esprit de finesse* e non invece all'*esprit géométrique*, costituiscono ciò che propriamente si definisce *buon senso*.

Può accadere che il *buon senso* ci consenta di scegliere tra i nostri due fisici. Può accadere che noi non troviamo affatto sensata la fretta con cui il secondo sconvolge i principi di una vasta teoria armoniosamente costruita, quando una modificazione secondaria, una leggera correzione sarebbero sufficienti a mettere d'accordo le teorie con i fatti. Può darsi al contrario che consideriamo puerile e irragionevole l'ostinazione con cui il primo fisico mantiene, costi quel che costi, a prezzo di continue riparazioni e di una moltitudine di puntelli ingarbugliati, i pilastri tarlati di un edificio traballante laddove, demolendo i pilastri, sarebbe possibile costruire, su nuove ipotesi, un sistema semplice, elegante, solido. Ma le ragioni del buon senso non si pongono con lo stesso implacabile rigore delle prescrizioni della logica, esse hanno qualcosa di vago e fluttuante, non si manifestano contemporaneamente con la stessa chiarezza a tutte le menti. Da qui deriva la possibilità di lunghe discussioni tra i detentori di un vecchio sistema e i sostenitori di una dottrina nuova, pretendendo ciascuno schieramento di avere il buon senso dalla sua, e trovando invece insufficienti le ragioni dell'avversario.

Federigo Enriques

Fatti e ipotesi nella costruzione delle teorie

"La volontà dell'uomo di non essere ingannato, tale è [...] l'origine del problema della conoscenza!" Così Federigo Enriques (1871-1946) nei *Problemi della scienza* (1906), sospettoso che le fonti dell'inganno possano risiedere anche nei pretesi "fondamenti" del sapere. La riflessione sulla natura e sulle finalità dell'impresa scientifica è per il livornese, laureatosi in matematica a Pisa nel 1891 e dal 1896 professore di geometria proiettiva e descrittiva a Bologna, un naturale sviluppo delle stesse ricerche matematiche – i suoi contributi alla geometria algebrica, insieme a quelli di Guido Castelnuovo (1865-1952) e di Francesco Severi (1879-1961) faranno delle ricerche della "scuola geometrica italiana" un punto di riferimento per la comunità matematica internazionale. L'attenzione per le geometrie non euclidee, e soprattutto per la loro unificazione e sistematizzazione nel "programma di Erlangen" di Felix Klein (1849-1925), spinge Enriques alla considerazione di temi quali la relazione tra geometria, fisica e psicologia. Così, per esempio, scrive al "carissimo" Guido Castelnuovo (4 maggio 1896): "mentre le questioni matematiche sonnecchiano fino a miglior tempo, io mi sto occupando da più giorni di un'altra questione che dalla matematica prende solo il pretesto: sentendone il nome tu proverai più orrore che stupore. Si tratta del 'problema filosofico dello spazio'. Libri di psicologia e di logica, di fisiologia e di psicologia comparata, di critica della conoscenza ecc. passano sul mio tavolo, dove li assaporo con voluttà, tentando di estrarne il succo per ciò che concerne il mio problema [...] Spero che ti convincerai che la questione che io tratto non è metafisica, ma critico-positiva". E tale "critica" viene ad assumere per Enriques una portata sempre più generale, investendo la natura delle ipotesi empiriche, il controllo sperimentale della teoria, la crescita della conoscenza, l'indagine psicologica della genesi dei concetti e la funzione della storia della scienza.

Nel 1907 con Giordano Bruno, Andrea Dionisi, Andrea Giardina ed Eugenio Rignano fonda *Scientia*, la "rivista di sintesi scientifica" che si propone di rivendicare la funzione insostituibile della razionalità della

scienza. In polemica con la "reazione idealistica" di Benedetto Croce (1866-1952) e di Giovanni Gentile (1875-1944), presiede dal 1907 al 1913 la Società filosofica italiana. Nel 1911 organizza il Congresso internazionale di filosofia di Bologna e l'anno dopo pubblica *Scienza e razionalismo*. Qui il bersaglio è qualsiasi tipo di polemica *antiscientista*, o meglio *antiscientifica*, che è l'altra faccia della "fiducia incondizionata" riposta dal positivismo nelle "immancabili conseguenze benefiche della scienza": la "bancarotta della scienza" proclamata da Ferdinand Brunetière (1849-1906), influente critico che aveva applicato l'evoluzionismo darwiniano alla storia della letteratura, ne era l'esempio più vistoso, anche se non più significativo. Per Enriques le premesse più insidiose di tale reazione si celano, infatti, nelle pieghe di prestigiosi programmi scientifici. In polemica con Giuseppe Peano (1858-1932) e la sua scuola, egli dichiara che persino il rigore della logica formale, spinto all'estremo, può condurre a "esagerazioni barocche". Così la "critica dei principi" in matematica si è tradotta nell'affermazione dell'"arbitrarietà della costruzione matematica": con tale *pragmatismo logico-matematico* va di pari passo il *pragmatismo filosofico*, che Enriques associa al convenzionalismo ("comodismo") di Poincaré (vedi p. 102) e all'economicismo di Mach (vedi p. 87). Tali concezioni prestano il fianco, sempre secondo Enriques, a un'interpretazione (quella di Edouard Le Roy nel caso di Poincaré e Mach, quelle di William James e Ferdinand Schiller nel caso di Peirce) secondo cui "il possesso della verità ricercato con la scienza diviene pura illusione". L'errore di fondo risiede per Enriques nell'aver scisso in modo indebito i due aspetti che insieme costituiscono il "concetto pieno del reale", cioè dato puro dell'esperienza e categorizzazione dello spirito. "La scienza è un processo di approssimazioni successive che prolunga indefinitamente le sue radici nelle induzioni inconse della vita comune, e spinge sempre più in alto i suoi rami." È ben vero che nell'impresa scientifica entrano "un elemento arbitrario e una scelta economica; ma l'arbitrio è contenuto nei limiti dell'approssimazione, segnata dalle esperienze [...], e deve essere ritenuto non già *convenzionale* ma *ipotesi*, cioè disposizione preordinata di esperienze future. Così, nel rapporto scientifico tra ipotesi ed esperienza si ritrova in forma più ampia il rapporto invariante tra atto volontario e sensazione, che costituisce il significato comune della realtà".

Dopo il 1913 la riflessione filosofica di Enriques per qualche anno cede il passo all'impegno matematico. Nel 1921 è direttore della Società italiana di matematiche ("Mathesis") e del suo organo ufficiale, *Il periodico di matematiche*. Nel 1922 si trasferisce all'Università di Roma, ove ricopre la nuova cattedra di geometria superiore. Nel 1936 pubblica l'importante *Saggi sul significato della storia del pensiero scientifico*, ove non solo invoca per il filosofo della scienza una disposizione per la storia ("non vi è pensiero originale che non appaia prolungamento di un pensiero precedente"), ma rivendica il ruolo fondamentale degli errori e persino dei pretesi non sensi

nella crescita della conoscenza; il suo *fallibilismo* appare in esplicita polemica con alcune delle tesi più radicali dell'empirismo logico, prospettandosi al contempo come modello di tolleranza intellettuale e di democrazia politica. Nel 1938, colpito dalle leggi razziali, Enriques è costretto ad abbandonare l'insegnamento; pubblica in Francia e in Italia sotto lo pseudonimo di Adriano Giovannini (dopo la liberazione di Roma riprende l'attività didattica, 1944).

Le pagine che seguono sono tratte da F. Enriques, *Problemi della scienza* (1906), Zanichelli, Bologna 1989 (ristampa anastatica della seconda edizione 1909), pp. 58-61, 71-80.

Di Enriques si vedano anche: *Questioni riguardanti la geometria elementare*, Zanichelli, Bologna 1900; *Scienza e razionalismo* (1912), con introduzione di O. Pompeo Faracovi, Zanichelli, Bologna 1990; *Questioni riguardanti le matematiche elementari*, 2 voll., Zanichelli, Bologna 1912-1914; *Per la storia della logica. I principi e l'ordine delle scienze nel concetto dei pensatori matematici* (1922), con introduzione di R. Simili, Zanichelli, Bologna 1987; *Il significato della storia del pensiero scientifico*, Zanichelli, Bologna 1936; *Causalità e determinismo nella filosofia e nella storia della scienza*, Atlantica, Roma 1945; *Natura, ragione e storia. Antologia di scritti filosofici*, a cura di L. Lombardo Radice, Einaudi, Torino 1958; *Per la scienza. Scritti editi e inediti*, a cura di R. Simili, Bibliopolis, Napoli 2000.

Per approfondire: U. Bottazzini, A. Conte e P. Garo (a cura di), *Riposte armonie. Lettere di Federigo Enriques a Guido Castelnuovo*, Bollati Boringhieri, Torino 1996; V. Cappelletti, "F. Enriques (1871-1946) nel centenario", in *Il Velino*, 5-6 (1971), pp. 573-582; L. Geymonat, "F. Enriques e la storia della scienza", in *Atti del Congresso internazionale dell'Accademia dei Lincei*, Accademia dei Lincei, Roma 1972; G. Giorello, *Introduzione a L'immagine della scienza*, a cura di Id., il Saggiatore, Milano 1977, pp. VII-XXXIX; L. Lombardo Radice, "Federigo Enriques e la filosofia naturale agli inizi del secolo ventesimo", introduzione a F. Enriques, *Natura, ragione e storia*, cit., pp. 3-67; Id., "Battaglia, sconfitta e vittoria di F. Enriques", in *Scientia*, 3-4 (1971), pp. 183-193; G. Oldrini e W. Tega (a cura di), *Filosofia e scienza a Bologna*, Cappelli, Bologna 1990; O. Pompeo Faracovi (a cura di), *Federigo Enriques: approssimazione e verità*, Belforte, Livorno 1982; O. Pompeo Faracovi e F. Speranza (a cura di), *Federigo Enriques. Filosofia e storia del pensiero scientifico*, Belforte, Livorno 1998; R. Simili (a cura di), *Federigo Enriques filosofo e scienziato*, Cappelli, Bologna 1989; Id., "L'età degli eroi", introduzione a F. Enriques, *Per la scienza. Scritti editi e inediti*, cit., pp. 13-76.

Chi intende a cogliere le differenze tra il fatto brutto nel senso volgare della parola e il fatto scientifico, scorge anzitutto in quest'ultimo un *carattere condizionale* assai più netto.

Veramente abbiamo riconosciuto, che ogni conoscenza racchiude delle condizioni per il riprodursi di sensazioni a esse coordinate. E questo è vero perfino del fatto che vive, per così dire, individualmente, come accidentalità del passato.

Ma si possono distinguere *condizioni subiettive* e *condizioni obiettive*. Se pur non si tratta di una separazione rigorosa, è tuttavia opportuno di stabilire una differenza secondo la loro relativa importanza.

La conoscenza volgare si attacca soprattutto alle condizioni subiettive; c'insegna come si deve *guardare* per *vedere*, come occorre *muoversi* per *toccare* ecc.

Veramente c'è anche in questo caso una comparazione del fatto in vista, colla realtà che lo circonda; ma sembra si dimentichi tutto ciò che non interessa i mezzi di porci nella condizione di produrre le sensazioni attese.

L'opposto avviene nella conoscenza scientifica. Il fatto è concepito, non per riguardo a noi stessi, ma in relazione ai fatti che lo circondano; si dimenticano in questo caso, almeno nell'enunciare il risultato, le condizioni subiettive sotto le quali esso si rivela ai sensi, per riferirsi alle condizioni obiettive del suo sussistere.

Un tal modo di considerare i fatti aggiunge loro qualcosa che la conoscenza volgare lascia nell'ombra. Onde un fatto scientifico cresce, per così dire, di una moltitudine di fatti bruti in esso contenuti; guadagna in *generalità* mentre riassume in se stesso nuovi rapporti più estesi.

È facile chiarire le osservazioni precedenti con qualche esempio. Picchiamo con un martello sopra una lastra di rame; ci accorgiamo poi, toccandola, ch'essa si è riscaldata. Ecco due fatti bruti, i quali ci si presentano l'uno dopo l'altro. La descrizione precisa delle circostanze in cui essi si compiono e delle sensazioni provate, non esce dal dominio della conoscenza volgare. La quale c'insegna come deve essere maneggiato il martello per picchiare, o come è più opportuno toccare il rame per constatarne il calore. Coste sono condizioni subiettive, che non entrano invece nella conoscenza scientifica del fatto.

La Scienza non ritiene che questo: "il rame picchiato con un martello si riscalda". Spariscono dall'enunciato i minuti particolari dell'esperienza compiuta, ma ai due fatti bruti si aggiunge il loro rapporto di successione, concepito come invariabile.

Il fatto scientifico consiste nel suddetto rapporto. C'insegna appunto questo, che "si possono provare le sensazioni attestanti il riscaldamento del rame, ove si compiano, in un modo qualunque, gli atti che ne producono la percussione con un martello".

Ma se si osserva che altri metalli, o anche altri corpi qualunque, si scaldano colla percussione, e che il riscaldamento ha luogo comunque si adopri, per picchiare, un martello o un altro strumento qualsiasi, si viene a concepire il fatto in un significato più esteso, enunciando che "i corpi si scaldano colla percussione".

Si è così eliminata ogni condizione estranea al vero rapporto costituente il fatto, per ritenere soltanto questo rapporto, il quale acquista quindi un significato più generale. La conoscenza scientifica intesa in codesto modo diviene maggiormente istruttiva. Noi vediamo come oggetto di essa una gerarchia di fatti, salienti per gradi a una più alta generalità e condizionalità.

Che cosa sia un fatto scientifico, appare il più chiaramente nella Fisica. La caduta dei gravi, la temperatura costante di fusione e d'ebullizione dei corpi, la riflessione, la rifrazione e la polarizzazione della luce, l'induzione elettro-magnetica, porgono altrettanti esempi caratteristici di fatti, generali e condizionati a un tempo.

[...]

Un'altra riflessione di carattere generale concerne la questione che si è affacciata più volte, almeno come implicita, nella analisi del "fatto", cioè quella del *valore* delle conoscenze scientifiche. [...] E]ntro i limiti della Scienza cade il giudizio che intende valutare i rapporti generali e astratti, misurandone la capacità a cogliere e rappresentare i fatti, le loro *somiglianze* e *differenze*, in un ordine già dato come interessante, cioè in relazione allo scopo conoscitivo. Sotto tale aspetto il *numero* dei fatti bruti associati in un fatto scientifico, ossia la generalità di questo, non ne costituisce l'unico elemento di valore; accanto a esso è da mettere in conto un elemento subiettivo, cioè il *modo di*

associazione dei fatti bruti medesimi, cui si collega la facilità della previsione concreta, la possibilità dell'ulteriore progresso scientifico.

Riguardiamo più da vicino codesto aspetto subiettivo delle conoscenze scientifiche.

Mentre cresce in esse il contenuto reale di fatti, che vengono per così dire sommati negli invarianti più generali, la forma della previsione progredisce e si adatta alla varietà dei casi, acquistando una crescente indeterminazione.

Perciò i rapporti generali, presi da soli, non costituiscono integralmente "somme di fatti bruti"; c'è in essi, come già vedemmo, un'astrazione o eliminazione di dati. Il fatto scientifico riveste la forma di un *fatto semplificato*, tipo di una *serie di fatti possibili*; e la previsione concreta si effettua aggiungendo al tipo la conoscenza degli *elementi* riguardati come *accidentali*, che distinguono e fissano un fatto reale nella serie stessa.

Ora questo tipo prende il nome di *concetto*, e si può dire quindi che *la conoscenza scientifica tende a effettuarsi per mezzo di concetti*; nel quale enunciato si ravvisa una veduta della più alta importanza, che può già riattaccarsi ad Aristotele, e che Kant ha posto a fondamento della sua "Logica trascendentale"; ma da cui sembra ognora possibile dedurre nuove e feconde conseguenze, in rapporto alla teoria della Scienza.

Rappresentare i fatti per mezzo di concetti significa, come abbiamo detto, associare e astrarre, quindi riunire i dati bruti, poi separarli, *scegliendo* ciò che diverrà elemento *essenziale* costitutivo del concetto, lasciando da parte gli elementi *accidentali*.

Una scelta analoga si riscontra già nella conoscenza volgare, e si può dire che fa parte della disposizione volontaria di sensazioni rispondente al fatto conosciuto. Il parallelismo si lascia proseguire: infatti la *supposizione di un concetto* costituisce come la *pre-messa volontaria* del fatto scientifico, in quanto implica una scelta di dati e quindi una *disposizione di esperienze*.

L'importanza di questo elemento volontario viene messa in evidenza ove si confrontino *diversi concetti* capaci di subordinare ugualmente un certo insieme di esperienze, poiché ne risulta allora una certa *arbitrarietà* della conoscenza scientifica, la quale può valutarsi appunto in ordine alla *facilità della previsione* e al suo *incremento estensivo*.

Ma la discussione di tali questioni implica di considerare la Scienza, non più come formata, bensì nel suo progressivo sviluppo, dove in luogo dell'accettazione di *fatti acquisiti* si hanno *ipotesi e teorie*. [...]

Il processo dell'investigazione ci appare oggi come un'operazione dello spirito, che muovendo dalle sensazioni vi ritorna per mezzo di un ragionamento, più o meno lungo. [...]

Si ricordi, per esempio, il ragionamento che ha permesso a Galileo di antivedere il risultato sperimentale che i gravi cadono al suolo con uguale velocità, distruggendo l'erronea supposizione di una velocità proporzionata alla massa. Galileo immagina due masse simili, cadenti l'una accanto all'altra: esse acquisteranno velocità uguali. Uniamo, egli dice, le due masse: l'una non potrà accrescere la velocità dell'altra, sicché la massa unica, somma delle due, si muoverà ancora colla velocità medesima.

L'esperienza che verificò codesto risultato fu agli occhi di Galileo una semplice conferma, della quale forse per suo conto non credeva avere bisogno, poiché il semplice ragionamento riferito gliene dava la certezza *a priori*. [...]

La teoria, secondo la quale la conoscenza tende a effettuarsi per mezzo di concetti è propria a sciogliere le difficoltà gnosologiche sopra accennate.

Poiché in realtà la tappa del ragionamento induttivo che precede la deduzione, non è l'ipotesi enunciata per una misteriosa divinazione dei fatti, ma il concetto, mediante il quale i fatti stessi si suppongono rappresentati, sorgente dalle osservazioni preliminari per un lavoro (spesso inconscio) di associazione e d'astrazione. Ogni concetto, così formato, contiene delle ipotesi, ma queste debbono essere rese esplicite da una critica, che enunci i risultati della visione immaginativa riferentesi a esso. [...] Galileo ha subordinato la sua ipotesi al concetto generale di una forza provocante la caduta dei corpi, la quale agisca su di essi, indipendentemente dai loro legami.

[...] Abbiamo dunque] uno schema psicologico del ragionamento induttivo comprendente i quattro stadi dell'*osservazione preliminare*, del *concetto che ipoteticamente la rappresenta*, della *deduzione* e della *verificazione*.

Ci avviciniamo così a cogliere nella sua realtà il procedimento di acquisto delle conoscenze, e a spiegarci le misteriose facoltà del

genio, a cui si attribuisce il potere divino dell'antiveggenza. E invero riesce comprensibile che uno studio dell'origine dei concetti possa mostrare come una sensibilità più squisita e una associazione più estesa permettano di trarre, da un piccolo numero di osservazioni, concetti formati in guisa da rappresentare adeguatamente i fatti. Mentre, d'altra parte, la rivelazione che una prima parte del ragionamento si compie spesso per un lavoro incosciente, ci richiama a considerare le molteplici cause d'errore che a codeste previsioni si accompagnano. [...]

Il procedimento innanzi descritto, mentre si compie sotto l'aspetto obiettivo nella conoscenza del *fatto scientifico*, si presenta nella sua formazione subiettiva come una *teoria*. Il nome di teoria scientifica spetta dunque a ogni concetto o sistema di concetti, sorto per induzione da osservazioni preliminari, cui, mediante uno sviluppo deduttivo, vengano subordinati dei fatti supposti, più o meno perfettamente verificati.

Accade per altro che le fasi induttiva e deduttiva, s'intreccino nello sviluppo effettivo, per modo che la riduzione di una teoria al procedimento innanzi descritto riesca soltanto possibile se questa si spezzi in una serie di teorie concatenate fra loro, dove le conseguenze dell'una vengano accettate come premesse della successiva, al posto di osservazioni preliminari.

Riferiamoci a un esempio classico, sforzandoci di ricostruire psicologicamente l'acquisto della teoria newtoniana della gravitazione.

Le osservazioni astronomiche preliminari, completate per interpolazione, trovansi espresse dalle leggi di Keplero seguenti:

- 1) i pianeti descrivono orbite ellittiche, di cui il Sole occupa uno dei fuochi;
- 2) le aree descritte dai raggi vettoriali sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle;
- 3) i quadrati dei tempi periodici sono proporzionali ai cubi degli assi maggiori.

Le medesime leggi si applicano al movimento relativo dei satelliti di Giove e degli altri pianeti, salvo che la terza si riferisce solo al caso di più satelliti; in ispecie le prime due leggi valgono anche pel moto della Luna intorno alla Terra.

Il primo passo dell'analisi di Newton consiste semplicemente nel surrogare al concetto kepleriano di un sistema di orbite ellitti-

che, con un dato fuoco, il concetto di un centro attrattivo intorno a cui si muovono i pianeti (o i satelliti di un pianeta) riguardanti come punti. E l'idea è evidentemente suggerita da una grandiosa associazione, per cui il pensiero ricorre ai casi studiati da Huyghens, dove il moto di un punto, che gira in un'orbita chiusa, importa una forza attrattiva centripeta rivolta verso l'interno, che compensi la forza centrifuga. Nel caso di un punto, legato con un filo a un centro, il quale descriva un cerchio con velocità uniforme, la forza attrattiva (misurata dalla tensione del filo) è anzi rivolta verso il centro suddetto, e la sua misura è inversamente proporzionale al quadrato del raggio.

Ora questo è un esempio particolare in cui trovansi soddisfatte le prime due leggi di Keplero. Una deduzione ben nota conduce (con Huyghens) a estendere la conclusione al caso generale: un punto che si muova attorno a un centro, in un'orbita chiusa, per modo da soddisfare alla seconda legge kepleriana, ha un'accelerazione rivolta verso quel centro; e se l'orbita è un'ellisse e il centro di rotazione è un fuoco, l'accelerazione risulta inversamente proporzionale al quadrato del raggio vettore.

Il movimento si può quindi spiegare ammettendo una forza attrattiva, inversamente proporzionale al quadrato della distanza, che emani dal centro e si aggiunga a un dato impulso iniziale ricevuto in un certo istante dal mobile in guisa da soddisfare a una certa disequaglianza.

Si è guadagnato intanto questo, di spezzare l'ipotesi kepleriana in due altre: forza attrattiva, e impulso iniziale soddisfacente a una certa disequaglianza. Lasciamo cadere quest'ultima condizione; avremo allora possibili movimenti in orbite iperboliche e paraboliche, che rientrano nel concetto newtoniano, e si presentano come una diretta generalizzazione dei moti dei pianeti intorno al Sole. I movimenti in orbite quasi paraboliche (e forse anche iperboliche) trovansi approssimativamente realizzati dalle comete. E alle comete si sono recentemente riavvicinate le stelle filanti (Schiaparelli).

Prescindiamo da questa estensione, supponendo che le due leggi kepleriane sieno enunciate con una generalità un po' maggiore dell'ordinario; e aggiungiamo la terza legge, che porta l'attrazione esercitata dal Sole sui pianeti, e così da Giove sui satelliti, proporzionale alle masse attratte. Si può dire con ciò che i concet-

ti, mediante i quali si traducono i fatti nelle teorie di Newton e di Keplero, sieno equivalenti?

Certo, se si arresta lo sviluppo della teoria newtoniana alla trasformazione logica delle ipotesi kepleriane, l'equivalenza deve essere perfetta. Nulla di più, e soprattutto nulla di diverso in contraddizione colle premesse, potrà uscirne.

Ma il valore della trasformazione sta nella circostanza che al concetto newtoniano:

1) vengono subordinati altri fatti, oltre quelli astronomici contemplati primitivamente;

2) si associa una nuova intuizione di rapporti che, in virtù di talune analogie e di una certa semplicità e simmetria di rappresentazione, suggerisce *ipotesi nuove*, correggenti quelle da cui si sono prese le mosse.

La leggenda narra come la caduta di un pomo richiamasse Newton a riavvicinare il moto dei corpi cadenti alla superficie della Terra con quello della Luna. Se l'attrazione della Terra si esercita non soltanto sulla Luna, ma su tutti i corpi, in ragione inversa al quadrato della loro distanza, diguiscché l'ordinaria gravità vi rientri come un caso particolare, deve esser possibile di dedurre il valore della costante g di Galileo (l'accelerazione dovuta alla gravità) dall'accelerazione della Luna, immaginando questa trasportata alla superficie della Terra. Il calcolo si effettua, in una prima approssimazione, moltiplicando l'accelerazione lunare per 60^2 , atteso che la distanza media della Luna dalla Terra sia 60 volte il raggio terrestre; e così appunto si ritrova, già assai bene, il valore della costante g !

A questo punto le ipotesi nuove, correttici del sistema kepleriano, sorgono dalla rappresentazione ottenuta dei fatti, in virtù di associazioni suggestive.

Il Sole attira i pianeti, i pianeti attirano i satelliti; in particolare la Terra attira la Luna, e l'attrazione si esercita non sulla Luna soltanto, ma su tutti i corpi che circondano la Terra, e si rivela alla superficie di questa come gravità. Il passo da fare è un semplice allargamento delle ipotesi; anzitutto l'attrazione si esercita da ciascuno dei corpi celesti su tutti gli altri, sempre proporzionalmente al prodotto delle masse e in ragione inversa al quadrato delle distanze.

Questa estensione, oltreché dal rimuovere limitazioni di cui

non si vede *a priori* il motivo, nasce già in parte dal proseguire l'analogia col movimento di un punto legato a un centro, dove all'azione centripeta corrisponde una reazione centrifuga uguale e opposta. Prima di tutto Newton fu tratto a porre in generale il principio d'azione e reazione e ne dedusse tosto che l'attrazione si esercita anche dai pianeti sul Sole; ciò non importa ancora una vera correzione delle leggi kepleriane, finché esse si considerino come espressione del moto relativo. Ora perché la stessa attrazione non si eserciterebbe anche dai pianeti gli uni sugli altri? Se l'effetto di codesta attrazione fosse molto notevole, le leggi di Keplero sarebbero visibilmente false; ma poiché si tratta di *perturbazioni* assai piccole, durante tempi non troppo lunghi, è possibile ammettere che le ipotesi di Keplero rappresentino soltanto una prima approssimazione, e che, adottando l'ipotesi dell'attrazione estesa, si possa ottenere una approssimazione più precisa.

Tutti sanno che così accade difatti, e già abbiamo avuto occasione di ricordare, fra le verifiche della teoria newtoniana, la brillante scoperta di *Nettuno*.

L'ultimo passo consiste nell'estendere l'ipotesi d'attrazione a corpi materiali qualsiasi; l'attrazione dei corpi celesti viene allora riguardata non come una forza emanante dai loro baricentri, ma come una risultante di forze pertinenti alle loro particelle. [...]

Nel campo astronomico l'ipotesi così estesa conduce d'altronde a una correzione della teoria, dove si tenga conto della *forma* dei corpi celesti; in ispecie allo schiacciamento della Terra ai poli corrisponde un'effettiva perturbazione caratteristica del moto lunare, la quale fu determinata da Laplace. [...]

L'esempio della teoria newtoniana, considerata nei suoi successivi stadi di sviluppo, illustra in particolare le seguenti circostanze:

1) La formazione dei concetti, e il conseguente sviluppo delle ipotesi, dall'associazione di osservazioni diverse.

2) L'astrazione da taluni dati e quindi la progrediente inderminazione delle teorie. Invero nel passaggio dalle leggi kepleriane alla legge newtoniana si eliminano prima di tutto certe costanti accidentali (posizioni e velocità iniziali) che vengono determinate, per vari casi, dalle osservazioni verificatrici.

3) La subordinazione di nuovi rapporti a una teoria generale mediante *ipotesi ausiliari*.

4) L'*equivalenza* di diversi sistemi di concetti rispetto a un certo gruppo di fatti rappresentati, e lo sviluppo da codesti concetti di *ipotesi diverse in un ordine più esteso di rapporti*.

5) L'*equivalenza di ipotesi diverse* relativamente a una serie di osservazioni ed esperienze, prese in un *certo ordine di approssimazione*.

Dalle circostanze 4) e 5) scaturiscono diversi modi di *semplificare le teorie entro un certo campo di previsione*; e nel secondo caso la semplificazione è suscettibile di un apprezzamento quantitativo preciso.

Ernst Cassirer

Il segreto dell'induzione

“Il simbolismo non rappresenta la vita, è la vita stessa” amava dire Enzo Paci (1911-1976). Forse niente si presta meglio a illustrare questo punto del pensiero di Ernst Cassirer (1874-1945) secondo cui l'uomo è “*animal symbolicum*”. Lo mostrano il linguaggio e il mito, la religione e l'arte, ma anche la scienza. Nel primo volume della *Philosophie der symbolischen Formen* (1923) Cassirer cita Hertz dai *Principi della meccanica* (1894), attribuendogli il merito di formulare “nel modo più significativo il nuovo ideale gnoseologico” che anima la conoscenza fisico-matematica. “I concetti fondamentali di ogni scienza [...] appaiono non più come un passivo *rispecchiamento* di un dato essere, ma come *simboli* intellettuali liberamente creati. [...] Al posto di una pretesa *somiglianza* di contenuto tra immagini e cosa, è subentrata l'espressione di un rapporto logico estremamente complesso, un'universale *condizione* intellettuale alla quale devono soddisfare i concetti fondamentali della conoscenza fisica. Il loro valore non risiede nel rispecchiamento di una determinata cosa esistente, ma nel risultato che essi forniscono come strumento di conoscenza, nell'unità dei fenomeni che essi stessi producono dal loro seno.” Un riconoscimento che Cassirer ribadirà a distanza di quasi vent'anni (1940), in un testo destinato a concludere la monumentale ricostruzione storica dedicata a *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit* (tradotto in italiano con il titolo *Storia della filosofia moderna* e i cui due primi volumi erano stati pubblicati nel 1906-1907), sottolineando la “svolta” compiuta da Hertz, in virtù della quale “i concetti fondamentali della fisica” risultano “espressione di un processo [...] in cui l'attività teorica ha libero corso, per incontrarsi con l'esperienza solo al traguardo finale”, ove ricevere “conferma o retifica”.

Addottoratosi (1899) a Marburgo, sotto la guida di Paul Natorp (1854-1924) e di Hermann Cohen (1842-1918), con una tesi sulla critica cartesiana della conoscenza matematica e fisica, Cassirer matura la convinzione che “nessun altro dominio di studi sia tanto legato al problema generale della conoscenza, e ne abbia così durevolmente influenzato lo sviluppo sto-

rico, quanto quello della fisica matematica", sicché l'indagine filosofica resterebbe uno "sterile esercizio" se non seguisse "il libero progresso dei concetti scientifici", rendendoli oggetto di un'analisi insieme *storica* e *sistematica*. E nei suoi primi lavori (tra cui spiccano il saggio su Leibniz, e quello su Kant e la matematica moderna) egli mostra come l'insegnamento delle scienze, colto magistralmente proprio da Hertz, riveli la fecondità della lezione kantiana, per cui "l'oggetto della fisica non [è] qualcosa d'assoluto", ma "consiste in tutto e per tutto di rapporti", sicché esso non può mai risolversi in una mera "rapsodia di sensazioni", poggiando piuttosto su una "sintesi" nella quale hanno parte "i concetti intellettivi puri". Ma anche la necessità di una riqualificazione dell'approccio kantiano, alla luce di quella stretta connessione con la "scienza matematica della natura" che già pareva essenziale allo stesso autore della *Critica della ragion pura*. Se la (cosiddetta) "rivoluzione copernicana di Kant", risalendo dagli oggetti alle condizioni di possibilità della loro conoscenza, gettava luce sulla necessità di abbandonare il concetto tradizionale di *sostanza* a favore di quello di *funzione*, essa tuttavia finiva per porre capo a una teoria della conoscenza che culminava in un "principio" astroico, ossia nell'"unità sintetica originaria" dell'Io penso. Di contro, per Cassirer occorre muovere nella direzione di una "teoria funzionale della conoscenza" che trovi nella mediazione simbolica dei concetti il luogo d'incontro tra l'oggetto e la sua rappresentazione. O, meglio, tra la struttura dell'oggetto e quella della rappresentazione.

È in questo contesto che si scrive la riflessione sulla natura della concretizzazione scientifica intrapresa in *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* (1910) e la stessa critica al primato sovente accordato all'induzione. "La 'pura' esperienza, nel senso della semplice raccolta induttiva di osservazioni singole, non avrebbe mai potuto fornire la struttura della fisica: le è infatti negato il poter dare forma matematica. Solo quando il fatto grezzo è sostituito da un simbolo matematico, comincia il lavoro intellettuale del comprendere, che lo collega sistematicamente con la totalità dei fenomeni." Cassirer non intende negare ai giudizi induttivi un certo grado di "necessità"; piuttosto, si tratta di comprendere come le "regolarità" e "generalità" (di per sé rivedibili) individuate dagli asserti scientifici riferiti all'esperienza implicano "nella necessità del nesso" che affermano "un elemento *a priori*", rinviando così, quanto alla loro condizione di possibilità, alla funzione "sinetica" e "nomologica" propria del giudizio. "Il 'segreto dell'induzione' [...] non comincia [...] là dove da una pluralità di osservazioni ricaviamo una conclusione circa la totalità dei casi, bensì è già completamente contenuto nella constatazione di un singolo caso. [...] Già nel caso singolo deve celarsi un elemento che lo innalza al di sopra della sua limitazione e del suo isolamento." Così "l'ambito delle esperienze limitato nello spazio e nel tempo [...] si allarga in modo da diventare *dimostrazione* e *simbolo della struttura sistemica della realtà in generale*. [...] Come al singolo punto appartiene il carattere generale della posizione e della distanza, così alla

singola esperienza appartiene già l'universale carattere della legge". Il "vero nucleo del procedimento induttivo", come la ragione del suo "successo", risiederebbe dunque nel fatto che esso ritroverebbe nel caso individuale quel carattere universale che solo rende il particolare passibile di conoscenza. In tal modo l'induzione viene a perdere per Cassirer (come già per Whewell) il ruolo che tradizionalmente le era attribuito nella fase della scoperta, fungendo piuttosto da controllo delle leggi empiriche, le quali, in virtù del loro stesso processo di formazione, rimangono pur sempre *assunzioni provvisorie* che "nascondono in sé" un elemento *ipoteitico*.

Cassirer continuerà a occuparsi dei problemi filosofici connessi alla matematica e alla fisica, pubblicando nel 1921 un saggio sulla teoria einsteiniana della relatività che sarà ampiamente discusso (e criticato) dagli esponenti del Circolo di Vienna, in particolare da Moritz Schlick; e nel 1936 un lavoro sulla meccanica quantistica e sulle sue ripercussioni su un approccio "trascendentale" alla conoscenza. Nello stesso periodo lo studio della dimensione simbolica della fisica matematica porta Cassirer a formulare il compito di "una filosofia sistemica" capace di cogliere "la totalità delle forme simboliche" e di passare così dalla "critica della conoscenza" a una più generale "critica della cultura". A tal fine, oltre alla citata *Filosofia delle forme simboliche*, il cui secondo e terzo volume vedono la luce nel 1925 e 1929, occorre ricordare i lavori pubblicati in Svezia (dove Cassirer era giunto nel 1935, dopo un primo soggiorno in Inghilterra, in esilio dalla Germania nazista) tra il 1939 e il 1941 e quelli successivi redatti negli Stati Uniti, in parte usciti postumi.

Le pagine che seguono sono tratte da E. Cassirer, *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*, Bruno Cassirer Verlag, Berlin 1910, tr. it. di G.A. De Toni, *Sostanza e funzione*, introduzione di M. Ferrari, La Nuova Italia, Firenze 1999, pp. 335-340, 343-345.

Di Cassirer si vedano anche: *Cartesio e Leibniz*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1986; *Storia della filosofia moderna* (1906-1907), 4 voll., tr. it. il Saggiatore, Milano 1968; "Kant e la matematica moderna" (1907), tr. it. in E. Cassirer e L. Couturat, *Kant e la matematica*, a cura di C. Savi, Guerini, Milano 1991, pp. 93-142; "Sulla teoria della relatività di Einstein" (1921), in *Sostanza e funzione*, con presentazione di G. Prei, tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1973, pp. 459-613; *La filosofia delle forme simboliche* (1923-1929), 3 voll., tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1961-1966; *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna* (1936), tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1970; *Sulla logica delle scienze della cultura* (1942), tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1979; *Saggio sull'uomo* (1944), tr. it. Armando, Roma 1972.

Per approfondire: G. Boniolo, *Metodo e rappresentazioni del mondo*, Bruno Mondadori, Milano 1999, pp. 199-247, 282-288; J.A. Coffa, *La tradizione semantica da Kant a Carnap*, tr. it. il Mulino, Bologna 1998, pp. 307-333; M. Ferrari, *Ernst Cassirer: dalla scuola di Marburgo alla filosofia della*

cultura, L.S. Olshchki, Firenze 1996; Ph. Frank, *La scienza moderna e la sua filosofia*, tr. it. il Mulino, Bologna 1973, pp. 191-203; S.W. Iltkoff, *Ernst Cassirer: Scientific Knowledge and the Concept of Man*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, London 1971; M. Lancellotti, *Funzione, simbolo e struttura. Saggio su Ernst Cassirer*, Studium, Roma 1974; P. Parrini, *Linguaggio e teoria. Due saggi di analisi filosofica*, La Nuova Italia, Firenze 1976; P.A. Schilpp (a cura di), *The Philosophy of Ernst Cassirer*, Tudor, New York 1958; M. Schlick, "Interpretazione criticistica o empiricistica della nuova fisica?", tr. it. in *Forma e contenuto*, a cura di P. Parrini, Boringhieri, Torino 1987, pp. 149-166; Jean Seidengart (a cura di), *Ernst Cassirer: de Marbourg à New York. Actes du colloque de Nanterre, 12-14 octobre 1988*, Les Éditions du Cerf, Paris 1990.



Il primo risulato, che si chiede al "concetto" induttivo nel senso rigoroso di questa parola, consiste nel convertire la pluralità delle osservazioni, presentatesi inizialmente come una semplice e slegata giustapposizione di singoli elementi, in una stabile forma seriale. Per chiarire il senso di questo compito, ci si può riferire a certi problemi elementari dell'aritmetica che rappresentano un esempio fedele e un'analoga del rapporto logico di cui qui si tratta. Data, per esempio, una certa successione di numeri in rapporto fra loro secondo una regola inizialmente ancora sconosciuta, bisogna, mediante la scoperta di questa regola, risolvere anzitutto la successione data in un complesso di serie che obbediscano a leggi di formazione relativamente più semplici. Se, per esempio, abbiamo dinanzi a noi la successione delle quarte potenze 1, 16, 81, 256, 625..., il rapporto mediante il quale i singoli termini della successione sono collegati fra loro può essere stabilito in quanto noi troviamo anzitutto le differenze fra loro, poi le differenze di queste differenze, e così di seguito, finché alla fine ci arrestiamo a una semplice serie aritmetica avente una differenza costante fra i singoli termini. In tal modo siamo risaliti a un tipo di serie perfettamente noto e perfettamente dominabile, e al tempo stesso abbiamo indicato la via per cui, da questa forma fondamentale, possiamo raggiungere di nuovo, attraverso gradi intermedi sempre più complicati, la successione data. Pertanto questa ci sta ora chiaramente dinanzi nelle condizioni della sua struttura

e in tutte le fasi della sua costruzione; essendo stata ricondotta alle fasi antecedenti della sua formazione, essa ci è diventata, per così dire, trasparente e reca il medesimo carattere di necessità nel passaggio da un termine all'altro che caratterizza la serie primitiva. Lo stesso "metodo risolutivo", che qui viene applicato nel campo dei numeri, caratterizza l'autentico ragionamento induttivo della scienza. Il dato immediato dell'osservazione appare inizialmente quasi impenetrabile al pensiero; può essere semplicemente constatato, ma non essere dedotto da una base iniziale semplice secondo determinate regole fisse di progressione. Ma la vera induzione teoricamente fondata e guidata non si ferma mai a questa prima constatazione. Essa sostituisce la coesistenza di fatto dei dati sensibili con un nesso di diversa specie il quale, considerato sotto l'aspetto puramente materiale, appare sì più povero di elementi costitutivi, ma al tempo stesso si lascia cogliere più chiaramente per quanto concerne il *principio* della sua formazione. Ogni esperimento, che noi instauriamo e su cui fondiamo i nostri ragionamenti induttivi, opera già in questa direzione. Infatti, l'esperimento scientifico non ha mai come suo vero oggetto il materiale grezzo della percezione sensoriale, ma pone in luogo di questo tutto un complesso di condizioni che esso ha costruito e a cui ha prescritto i suoi limiti.

L'esperimento, pertanto, non riguarda mai, a rigore di termini, il caso reale come si presenta qui e ora in tutta l'abbondanza delle sue determinazioni particolari, bensì un caso *ideale* che noi gli sostituiamo. Di ciò i veri inizi dell'induzione scientifica offrono già un esempio classico. Galilei scopriva la legge della caduta dei gravi non già raccogliendo delle osservazioni disperate nei corpi sensibili e reali, bensì fissando ipoteticamente il concetto di accelerazione uniforme e mettendolo a confronto con i fatti come fondamentale misura concettuale. Questo concetto gli fornisce per determinati valori di tempo una successione di valori di spazio che procedono secondo una regola fissa, determinabile una volta per sempre. E poi, partendo da questa regola, si deve cercare di giungere all'effettivo processo della realtà prendendo di nuovo gradualmente in considerazione le complesse determinazioni che all'inizio rimanevano escluse, quali per esempio il cambiare dell'accelerazione con l'allontanamento dal centro della Terra, il rallentamento provocato dalla resistenza dell'aria ecc.

Come nell'esempio aritmetico procedevamo dalla serie fondamentale semplice, in cui le differenze fra i termini sono costanti, a serie di secondo, di terzo e di quarto ordine, così ora il reale si risolve per noi in diversi ordini di relazioni, i quali sono connessi fra loro in modo regolare e progressivamente si condizionano l'un l'altro. L'apparenza sensibile della semplicità del fenomeno lascia il posto a un rigoroso sistema concettuale di rapporti subordinati e subordinati. Tuttavia, rispetto al concetto matematico si manifesta qui la caratteristica differenza consistente nel fatto che la costruzione, che nell'ambito della matematica raggiunge una conclusione fissa, nell'ambito dell'esperienza rimane per principio *tale da non potersi concludere*. Ma per quanto numero si siano gli "strati" di relazioni che facciamo sorgere gli uni sugli altri, e per quanto ci possiamo accostare a tutte le circostanze singole dell'evento reale, rimane sempre aperta la possibilità che qualcuno dei fattori che concorrono nel determinare l'intero processo non venga considerato e venga scoperto solo nell'ulteriore procedere dell'analisi sperimentale. Ogni conclusione da noi raggiunta possiede quindi soltanto il valore relativo di una sistemazione provvisoria che conserva il risultato ottenuto solo per farne il punto di partenza di nuove determinazioni. L'incertezza, che in tal modo sembra rimanere, non riguarda però i rapporti stabiliti *nell'ambito* delle singole serie, ma compare soltanto là dove il *tutto* di questa costruzione teorica viene a confronto con le osservazioni di fatto. Una contraddizione, che qui si presenti, non viene quindi superata per il fatto che noi abbandoniamo le basi fondamentali dei precedenti esperimenti, bensì in quanto inseriamo in questi esperimenti nuovi fattori, i quali, pur correggendolo, consentono anche di mantenere in un nuovo significato il primo risultato. La *verità* dei singoli elementi di determinazione rimane in generale – a prescindere dagli errori soggettivi di osservazione – impregiudicata; ciò che sempre viene rimesso in questione è la *sufficienza* di questi elementi di determinazione a spiegare i complicati rapporti della realtà. Ma proprio col lasciare aperta tale questione il concetto induttivo dimostra che la direzione che esso prende non allontana dalla realtà, ma avvicina sempre di più a essa. Le relazioni "universali", che esso inizialmente mette in luce, certo non contengono ancora, considerate in se stesse, le caratteristiche particolari, ma neppure le *negano*. Esse piuttosto la-

siano posto per queste e ne preannunciano la possibile determinazione futura. [...]

In questo senso, il "concetto" della scienza della natura non prescinde affatto dal particolare, ma volge sempre con maggior rigore la sua attenzione a esso. Ogni relazione universalmente valida, che tale concetto stabilisce, ha già in sé la tendenza a collegarsi con altre relazioni per diventare, mediante questa compensazione, sempre più atta a dominare il caso singolo. Ognuna delle serie fondamentali, di cui si costituisce una legge più complessa, certo, considerata in se stessa, indica soltanto un determinato campo di condizioni. Tuttavia, non si può assolutamente dire che queste condizioni siano attuate solo *in parte* o *in modo inexacto* dal concreto processo complessivo risultante dalla loro totalità; esse invece debbono tutte necessariamente realizzarsi in modo completo e senza limitazioni affinché il processo dato sia possibile. Pertanto, un nuovo punto di vista, che sia raggiunto dal pensiero in un secondo tempo e che ponga il fenomeno da noi studiato in rapporto con un nuovo ordine di fatti, non cambia nulla per quanto concerne il senso e il valore delle precedenti determinazioni. Solo una cosa si richiede, e cioè che le relazioni da noi progressivamente stabilite in questa maniera siano *compatibili* fra loro. Per principio, questa compatibilità è già garantita dal fatto che la determinazione del caso particolare avviene in base alla determinazione del caso generale e il valore di questo viene tacitamente presupposto. Se noi pensiamo un evento singolo come sintesi di diverse leggi, la questione di come il particolare possa "partecipare" dell'universale cessa di essere un problema *metafisico*, giacché per noi l'universale significa ormai non più una realtà sostanziale che entri nel singolo come reale elemento costitutivo, bensì un *elemento* logico che implicitamente è compreso in un più vasto sistema di relazioni. [...] La "partecipazione" del singolo all'universale non appare quindi più misteriosa dello stesso fatto logico fondamentale per cui in generale condizioni diverse possono essere concettualmente raccolte in un risultato unitario, dove ognuna di esse è perfettamente mantenuta. La questione non è più di sapere come il singolo, conformemente alla sua "sostanza", nasca dall'universale e si separi da esso, bensì come sia possibile alla conoscenza mettere in relazione e determinare reciprocamente le regole dei nessi universali, da essa raggiunte, in

maniera tale che ne risulti la visione concettuale delle particolari circostanze della realtà fisica.

[...]

È stata talvolta mostrata la differenza metodologica che sussiste fra le semplici "regole" della conoscenza della natura e le leggi veramente universali della natura. Le induzioni di Keplero circa il movimento dei pianeti indicano soltanto delle "regole" generalizzate dell'accadere, mentre la legge fondamentale su cui esse poggiano viene raggiunta appena nella teoria newtoniana della gravitazione. Qui, infatti, troviamo l'ellisse non semplicemente come la forma reale dell'orbita di Marte, ma abbracciamo con uno sguardo la totalità delle orbite "possibili". Il concetto newtoniano di una forza centripeta, che diminuisce secondo il quadrato della distanza, conduce a una completa disgiunzione dei casi empirici in genere. Il risolversi di questi casi gli uni negli altri è ora rigidamente prefissato: la grandezza della velocità iniziale del corpo in movimento decide – indipendentemente dalla direzione di questa velocità – se la forma della sua traiettoria sarà un'ellisse, un'iperbole o una parabola. In tal modo la "legge" di gravitazione chiude in se stesso il campo dei fenomeni da essa dominato e gli prescrive un rigoroso ordinamento articolato, mentre la regola intorno al movimento dei pianeti, conosciuta in modo semplicemente empirico, lascia sussistere i casi particolari solo come coesistenza slegata senza rigorosa delimitazione. Tuttavia, nel procedere effettivo della scienza queste due concezioni, che in tal maniera possono essere logicamente distinte, non sono mai separate in modo rigoroso, ma trapassano insensibilmente l'una nell'altra. La "regola" ha già in sé la tendenza a innalzarsi alla forma di legge; come d'altro lato, la perfezione concettuale, che la legge raggiunge, rimane un'assunzione semplicemente provvisoria in quanto nasconde sempre in sé un elemento *ipotesico*. Ci troviamo di fronte all'apparente circolo vizioso che si incontra sempre nel rapporto fra legge e fatto. Se pensiamo il movimento dei pianeti come determinato da forze centripete, che agiscono in ragione inversa del quadrato della distanza, risulta che la forma della sezione conica è *necessaria* per la loro orbita; tuttavia, il fatto che questa determinazione circa la specie e la grandezza dell'attrazione abbia "realmente" luogo non può essere provato altrimenti

che mediante questa necessità metodologica, mediante la capacità di questa ipotesi di collegare e di precisare in un senso determinato le osservazioni [...]. Se a un certo momento l'esperienza, portandoci nuovo materiale, ci costringe ad abbandonare quest'ipotesi, certamente il concetto puro come tale non può porvi riparo; ma anche in questo caso la *forma* del concetto empirico non va affatto perduta insieme al suo particolare contenuto. Per il nuovo campo che ora ci si apre noi esigiamo subito il medesimo limite concettuale e cerchiamo di realizzarlo in una nuova legge che subordini la precedente. Il mutato materiale condiziona una mutata maniera di connessione, nella quale però la *funzione* generale di questa connessione, cioè la deduzione del singolo da un supremo principio seriale, da noi assunto come base, rimane la medesima.

Questa funzione, e non già la sua momentanea e mutevole espressione in principi particolari, si trova posta nel concetto dell'esperienza medesima e fa quindi parte delle "vere condizioni della sua possibilità". Se è data una serie di osservazioni $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, un doppio compito deve essere preso in considerazione. Possiamo tentare di arricchire il materiale di questa serie median- te l'interpolazione e l'extrapolazione, inserendo fra i termini dati dei termini ipotetici, oppure continuando a studiare la serie al di là dei suoi limiti iniziali. Ma si tratta poi di compendiare la molteplicità dei termini in un'*identità* ultima fornendo una regola mediante la quale il passaggio da a_1 ad a_2 venga determinato e associato a un sicuro principio. Se si può indicare di preferenza il primo procedimento come "induzione" e il secondo come "deduzione", è tuttavia evidente che essi si condizionano reciprocamente e collaborano fra loro. Il completamento della serie mediante l'introduzione di nuovi singoli termini avviene già nella direzione verso la legge unitaria di deduzione che qui si presenta al pensiero come problema. La scelta e l'elaborazione del materiale avvengono sotto la direzione di un'attiva norma di giudizio. Mediante una data serie di osservazioni cerchiamo per così dire di mettere in opera una legge avente una determinata struttura concettuale e misuriamo la verità di questa legge a seconda che essa riesca a indicare i vuoti lasciati dalla percezione immediata e indicando il modo di colmarli con future indagini. In questo senso Keplero collegò i dati sulle posizioni di Marte, che gli erano stati

forniti dall'indagine di Tycho Brahe, mediante le più diverse curve geometriche, che egli confrontò con i fatti considerati come norme ideali note, fino a che pervenne all'ellisse come a quella linea che consente di dedurre il più grande numero di osservazioni in base al principio geometrico relativamente più semplice. Tuttavia, che tale lavoro non porti mai a un risultato *assoluto* deriva già dalla natura del compito stesso: infatti, per quanto numerosi possano essere i punti delle orbite planetarie che ci vengono dati, è sempre possibile collegarli con quante linee si vuole, aventi una forma variata e complicata. Resta soltanto un'esigenza metodologica, e cioè che per quanto siano necessariamente complesse le assunzioni per rappresentare un campo concreto e *limitato* di fatti, nell'analisi ultima del processo naturale si deve giungere a certe regole fondamentali semplici.

Albert Einstein

Come cambia la fisica: teoria ed esperienza

“È noto che l'elettrodinamica di Maxwell [...] conduce, nelle sue applicazioni a corpi in movimento, ad asimmetrie che non sembrano conformi ai fenomeni. [...] Casi siffatti], come pure i tentativi falliti di individuare un qualche movimento della Terra relativamente al 'mezzo luminifero', suggeriscono che i fenomeni elettrodinamici, al pari di quelli meccanici, non possiedono proprietà corrispondenti all'idea di quiete assoluta; [...] piuttosto [...] per tutti i sistemi di coordinate per i quali valgono le equazioni della meccanica varranno anche le stesse leggi elettrodinamiche e ottiche. Eleveremo questa congettura (il contenuto della quale verrà detto, in quanto segue, 'principio di relatività') al rango di postulato; supporremo poi – un postulato, questo, solo apparentemente incompatibile col precedente – che la luce, nello spazio vuoto, si propaghi sempre con una velocità determinata c che non dipende dallo stato di moto del corpo che la emette.” Ecco dunque “una teoria elettrodinamica dei corpi in movimento, semplice e coerente, basata sulla teoria di Maxwell per i corpi stazionari” (il che faceva pure giustizia dell'“etere luminifero”).

Nato a Ulm, in Germania, dove riceve l'istruzione primaria e parte della secondaria, Albert Einstein (1879-1955) a quindici anni segue la famiglia in Italia. Completati gli studi secondari presso la scuola cantonale di Aarau (Svizzera), si iscrive al Politecnico di Zurigo, dove si laurea in fisica nel 1900. Non riuscendo a ottenere una posizione accademica, si impiega all'Ufficio brevetti di Berna (1902). È quindi un “oscuro impiegato” quello che nel suo *annus mirabilis* (1905) pubblica sugli *Annalen der Physik* quattro articoli fondamentali. Nel primo (“Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”) introduce l'importante concezione dei *quanti di luce*, che più tardi saranno battezzati *foloni*; nel secondo (“Die von molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen”) affronta lo studio del comportamento di particelle di dimensioni lineari dell'ordine di qualche frazione di micron in sospensione in un liquido, considerandole soggette all'agitazione termica delle molecole di quest'ultimo – si tratta del cosiddetto *moto browniano* descritto (1827) dal botanico Robert Brown

(1773-1858); la formula di Einstein (proporzionalità del cammino quadratico medio alla radice quadrata del tempo) sarà controllata sperimentalmente da Jean-Baptiste Perrin (1870-1942) nel 1909, suffragando così la concezione atomistica della struttura della materia per la quale si era battuto il grande Ludwig Boltzmann (1844-1906) e che tanto era stata avversata da critici sottili come Ernst Mach e Pierre Duhem: nel terzo, da cui si è tratta la citazione iniziale ("Elektrodynamik bewegter Körper"), viene presentata quella che sarà poi nota come relatività ristretta o speciale. L'argomento del quarto ("Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?") è una deduzione dal principio di relatività, secondo cui a ogni forma di energia è associata una massa inerziale. Negli anni immediatamente successivi Einstein riflette su due problemi concettuali che considera di grande interesse teorico: "la mancanza di una ragione sufficiente per il privilegio dei sistemi inerziali" (che lo spinge a estendere il principio di relatività a classi più estese di moti relativi oltre a quelli rettilinei uniformi) e "la presenza di un'azione a distanza nella teoria newtoniana della gravitazione universale" (problema che, come è noto, aveva inizialmente portato a un rifiuto della concezione esposta nel *Principia* e turbato lo stesso Isaac Newton). Dopo un lungo e complesso percorso questa duplice riflessione sfocia nella teoria della relatività generale, che vedrà la luce nel 1915, con quattro fondamentali articoli pubblicati sulla *Preussische Akademie der Wissenschaften*. L'anno successivo compare sugli *Annalen der Physik* l'esauriente esposizione dal titolo "Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie". Nel 1917 esce la celebre *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich)*, tra le opere einsteiniane senza dubbio la più conosciuta e tradotta.

Tuttavia, non è solo la relatività a occupare l'interesse di Einstein. La fisica quantistica non cessa di affascinarlo, e in una lettera del dicembre 1925 a Michele Besso (1873-1955), l'ingegnere italiano ringraziato nel lavoro del 1905 sulla relatività speciale e grande amico e confidente per tutta una vita, saluta con non troppo entusiasmo la teoria di Heisenberg, Born e Jordan degli stati quantici: "un vero quadrato magico, nel quale determinanti infiniti (matrici) prendono il posto delle coordinate cartesiane. Una cosa davvero ingegnosa, che proprio per la sua complessità è difficile da dimostrare errata". Einstein prenderà le distanze dalle interpretazioni della meccanica quantistica della scuola di Göttinga e della scuola di Copenhagen ispirata dal grande Niels Bohr: "Dio non gioca a dadi" era la sua battuta preferita. Convinto che la meccanica quantistica sia una teoria incompleta, Einstein nel 1935 escogita, insieme a due collaboratori, Boris Podolsky e Nathan Rosen, un esperimento per difendere la propria posizione, noto come EPR. Varrà la pena qui ricordare che in quel periodo Karl Popper aveva espresso il suo dissenso circa l'interpretazione "ortodossa" di Copenhagen, proponendo un esperimento mentale. L'11 settembre 1935 Popper riceve una lettera di Einstein che "l'liquida in maniera concisa e decisiva" tale esperimento, scrive Einstein: "Sono largamente d'accordo con Lei, solo non credo nella possibilità di pro-

durare un caso superpuro che ci permetterebbe di predire la posizione e il momento (colore) di un fotone con precisione inammissibile" (questa lettera è riportata nell'Appendice 12 della versione inglese, 1959, della *Logica*).

D'altra parte l'interesse teorico di Einstein è da alcuni anni indirizzato al tentativo di chiarire quali rapporti intercorrono tra il campo gravitazionale (relatività generale) e il campo elettromagnetico (relatività ristretta). Nella lezione di ringraziamento per il Nobel del 1921 ("assegnatogli per i suoi contributi alla fisica teorica, e specialmente per la scoperta dell'effetto fotoelettrico"), tenuta nel 1923 a Göteborg, egli dichiara che "una mente che anela all'unificazione della teoria non può essere paga del fatto che debba no esistere due campi i quali, per loro natura, siano indipendenti tra loro". Entrambi devono presentarsi come "manifestazioni diverse di uno stesso campo". Einstein era consapevole delle difficoltà: "qui non possiamo basarci su fatti empirici, come quando si ricava la teoria della gravitazione (uguaglianza di massa inerziale e gravitazionale), ma dobbiamo limitarci al criterio di semplicità matematica, che non è esente da arbitarietà". L'avvio alle ricerche sulla teoria unitaria dei campi era stato dato tra il 1918 e il 1921 dai lavori di matematici di grandissimo livello come Hermann Weyl (1885-1955) e Theodor Kaluza (1885-1954). La questione dell'unificazione doveva offrire lo spunto per riflessioni matematiche di notevole profondità, tra cui spiccavano quelle di Oskar Klein (1894-1977), Tullio Levi-Civita (1873-1941) ed Elie Cartan (1869-1951). Ben presto emersero ostacoli tali da scoraggiare la maggioranza dei fisici che miravano a raccogliere in tempi ragionevoli qualche risultato nella proliferazione di settori della fisica quantistica. L'ideale "monistico" doveva restare per Einstein il sogno di una vita.

Ma egli seppe sempre mantenere quella sottigliezza epistemologica ben evidenziata dalle pagine qui riportate. Del resto, nella sua *Autobiografia* (scherzosamente chiamata "il necrologio", fu pubblicata nel 1949 nel volume dedicato da Paul Schlipf) si trova un'esemplare formulazione di cosa si debba intendere per "critica di una teoria" (in fisica, e più in generale in scienza). Un "primo principio è [...] che] la teoria non deve contraddire i fatti empirici. Per quanto a tutta prima quest'esigenza possa sembrare evidente, la sua applicazione risulta molto delicata, poiché spesso, forse anche sempre, è possibile accettare una base teorica generale, assicurando l'aderenza della teoria ai fatti per mezzo di ipotesi aggiuntive e artificiali. [...] Il secondo principio non ha per oggetto il rapporto tra teoria e materiale d'osservazione, bensì le premesse della teoria stessa, o ciò che brevemente, se pur vagamente, potrebbe definirsi 'naturalità' [...] delle premesse. [...] Non si tratta qui semplicemente di enumerare le premesse logicamente indipendenti (ammesso che sia possibile fare qualcosa del genere in modo assolutamente inequivoco), ma di sopprimere in una sorta di raffronto valutativo qualità incommensurabili. [...] Il secondo principio, insomma, si può brevemente caratterizzare dicendo che si riferisce alla 'perfezione interna' della teoria, mentre il primo si riferiva alla 'conferma esterna'. E un'altra cosa mi

sembra di poter dire sulla 'perfezione interna' della teoria: noi apprezziamo maggiormente una teoria se, dal punto di vista logico, essa non è il risultato di una scelta arbitraria tra teorie che, confrontate tra loro, sono di ugual valore e costruire in modo analogo [il caso di Hertz insegna, vedi p. 71]. È sulla base di questi principi che, con il senno di poi, Einstein ritiene di aver criticato la meccanica newtoniana, con le sue nozioni di spazio, tempo e moto assoluti e la sua teoria dell'azione a distanza (vedi anche quanto osservato a pp. 85-86). Salvo poi aggiungere: "Newton, perdonami; tu hai trovato la sola via che, ai tuoi tempi, fosse possibile per un uomo di altissimo intelletto e potere creativo. I concetti che tu hai creato guidano ancora oggi il nostro pensiero nel campo della fisica, anche se ora noi sappiamo che dovranno essere sostituiti con altri assai più discosti dalla sfera dell'esperienza immediata, se si vorrà raggiungere una conoscenza più profonda dei rapporti tra le cose".

Di altrettanta *pietas* Einstein era capace sul piano etico, lui che fu testimone di un tempo dei più difficili. Nel 1909 aveva ottenuto la cattedra all'Università di Praga. L'anno successivo era stato chiamato a Zurigo, città che lascia nel 1913 allorché è nominato direttore del Kaiser Wilhelm Institut di Berlino. Nei mesi di aprile e maggio del 1921 visita per la prima volta gli Stati Uniti, insieme con Chaim Weizmann (1874-1952), allo scopo di raccogliere fondi per il progetto di un'università ebraica a Gerusalemme. Nel 1925 firma insieme con Gandhi e altri un manifesto contro il servizio militare obbligatorio. Lascia Berlino (1933) al momento dell'ascesa al cancellierato di Adolf Hitler, si trasferisce a Princeton, ove, ottenuta la cittadinanza americana (1941), resterà come membro dell'Institute for Advanced Study fino alla morte. Nel 1933 era stato pubblicato, con il titolo *Warum Krieg? (Perché la guerra?)*, il suo carteggio con quello che sarà un altro grande esule della Mitteleuropa, Sigmund Freud (1856-1939). Il 2 agosto 1939 scrive al presidente Franklin Delano Roosevelt (1882-1945), caldeggiando la costruzione di un'arma atomica. Alla fine del conflitto, in una lettera aperta all'Assemblea generale dell'ONU (1946), sollecita la formazione di un governo mondiale. Il 18 marzo 1950 firma e sigilla il suo testamento: Otto Nathan è nominato esecutore unico, e insieme con Elen Dukas sarà amministratore del lascito einsteiniano (l'Università ebraica è scelta come sede definitiva delle sue lettere e dei suoi manoscritti). Due anni dopo a Einstein viene offerta la presidenza del nuovo Stato d'Israele, ma egli rifiuta. Il 14 aprile 1954 difende presso gli organi di stampa Julius Robert Oppenheimer (1904-1967), il fisico di origine tedesca tra i padri della bomba atomica, inquisito per presunte "attività antiamericane". L'11 aprile 1955, pochi giorni prima di morire, Einstein aderisce all'appello di Bertrand Russell per la messa al bando delle armi nucleari.

Le pagine che seguono sono tratte da A. Einstein, "Considerations Concerning the Fundamentals of Theoretical Physics", in *Science*, 91 (1940), pp. 487-492; tr. it. di L. Bianchi, "I fondamenti della fisica teorica", in *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino 1988, pp. 564-576.

Di Einstein si vedano anche: *Come io vedo il mondo*, tr. it. Newton Compton, Roma 1988; *Correspondenza con Michele Besso*, tr. it. a cura di G. Gemello, Guida, Napoli 1995; A. Einstein e L. Infeld, *L'evoluzione della fisica*, tr. it. Boringhieri, Torino 1965; A. Einstein e M. Born, *Scienza e vita. Lettere 1916-1955*, tr. it. Einaudi, Torino 1973.

Per approfondire: E. Bellone, Introduzione ad A. Einstein, *Opere scelte*, cit., pp. 11-46; S.A. Bergia, *Einstein e la relatività*, Laterza, Roma-Bari 1978; A. Beyerchen, *Gli scienziati sotto Hitler*, tr. it. Zanichelli, Bologna 1981; G. Boniolo, "Theory and Experiment. The Case of Eötvös Experiments", in *The British Journal of Philosophy of Science*, 43 (1992), pp. 459-486; M. Born, *La sintesi einsteiniana*, tr. it. Boringhieri, Torino 1969; P.W. Bridgman, *La logica della fisica moderna*, tr. it. Boringhieri, Torino 1965; U. Curi (a cura di), *L'opera di Einstein*, Corbo, Ferrara 1989; A.S. Eddington, *Spazio, tempo e gravitazione*, tr. it. con appendice di T. Regge, Boringhieri, Torino 1971; W. Fock, *The Theory of Space, Time and Gravitation*, Pergamon Press, Oxford 1964; A.P. French (a cura di), *Einstein: A Century Volume*, Heinemann, London 1979; L. Graton, *Relatività, cosmologia, astrofisica*, Boringhieri, Torino 1968; S.W. Hawking e W. Israel (a cura di), *General Relativity, An Einstein's Centenary Survey*, Cambridge University Press, Cambridge-London 1979; G. Holton, *L'immaginazione scientifica*, tr. it. Einaudi, Torino 1983; L.M. Krauss, *Paura della fisica*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1994; A. Pais, "Sottile è il Signore...", tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1991; Id., *Einstein è vissuto qui*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1995; M. Panaleo (a cura di), *Cinquanti anni di relatività*, Editrice Universitaria, Firenze 1955; W. Pauli, *Teoria della relatività*, tr. it. Boringhieri, Torino 1958; T. Regge, "Relatività", in *Enciclopedia*, vol. XI, Einaudi, Torino 1980, pp. 820-889; P.A. Schlipf (a cura di), *Albert Einstein scienziato e filosofo*, tr. it. Boringhieri, Torino 1958; J.S. Schwinger, *L'eredità di Einstein*, tr. it. Zanichelli, Bologna 1988; A. Spazzani, *Il problema della misura e l'idea di relatività. Un'introduzione*, CUEM, Milano 2000; H. Weyl, *Raum, Zeit, Materie* (1918), Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1970⁵; Id., *Analisi matematica del problema dello spazio*, tr. it. e note aggiuntive a cura di A. Loinger, Zanichelli, Bologna 1990; A. Whitaker, *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge University Press, Cambridge 1996; C. Will, *Einstein aveva ragione?*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1989; E. Zahar, *Einstein's Revolution. A Study in Heuristic*, Open Court, La Salle (Ill.) 1989.



La scienza rappresenta il tentativo di far corrispondere la varietà caotica della nostra esperienza sensibile a un sistema di pensiero logicamente uniforme. In questo sistema le singole esperien-

ze vanno correlate alla struttura teorica in maniera tale che la coordinazione risultante sia unica e convincente.

Le esperienze sensoriali sono il dato di partenza, ma la teoria che le interpreta è opera dell'uomo. È il risultato di un processo di adattamento straordinariamente laborioso: ipotetico, mai definitivo, sempre soggetto a discussioni e a dubbi.

Il modo scientifico di elaborare i concetti differisce da quello abituale nella vita quotidiana solo nella definizione più precisa dei concetti e delle conclusioni, in una scelta più accurata e sistematica del materiale sperimentale, e in una maggiore economia di pensiero. Con quest'ultima intendiamo lo sforzo di ridurre tutti i concetti e le correlazioni al numero più piccolo possibile di concetti e assiomi fondamentali logicamente indipendenti.

Ciò che noi chiamiamo fisica comprende quel gruppo di scienze naturali che fondano i loro concetti sulle misure e i cui concetti e proposizioni si prestano a una formulazione matematica. Il suo dominio, di conseguenza, è definito come quella parte del complesso della nostra conoscenza che è suscettibile di venire espressa in termini matematici. Con il progresso della scienza, il dominio della fisica si è esteso al punto da sembrare ormai soggetto soltanto ai limiti del metodo stesso.

La maggior parte della ricerca fisica è dedicata allo sviluppo dei vari rami della fisica, in ciascuno dei quali l'obiettivo è la comprensione teorica di campi più o meno ristretti dell'esperienza, e in ciascuno dei quali leggi e concetti restano il più intimamente possibile legati all'esperienza. È questo settore della scienza, con la sua crescente specializzazione, che ha rivoluzionato la vita pratica degli ultimi secoli, e che ha reso concreta la possibilità di liberare infine l'uomo dal fardello del lavoro fisico.

D'altra parte, fin dall'inizio si sono avuti incessanti tentativi di trovare una base teorica unificatrice per tutte queste singole scienze, formata da un minimo di concetti e di relazioni fondamentali, da cui poter derivare, attraverso un processo logico, tutti i concetti e le relazioni delle singole discipline. Questo è quanto intendiamo per ricerca di un fondamento per tutta la fisica. La convinzione fiduciosa che questo obiettivo finale possa essere raggiunto è la sorgente principale della dedizione appassionata che ha sempre animato il ricercatore. È in questo senso che le seguenti osservazioni sono dedicate ai fondamenti della fisica.

Da quanto è stato detto è chiaro che il termine "fondamenti", in questo contesto, non deve significare nulla di analogo, sotto nessun rispetto, alle fondamenta di un edificio. Da un punto di vista logico, naturalmente, tutte le singole leggi della fisica poggiano su questo fondamento. Ma, mentre un edificio può venire seriamente danneggiato da una forte tempesta o da un'inondazione primaverile, senza che le sue fondamenta subiscano danni, nella scienza il fondamento logico è sempre più in pericolo, a causa di nuove esperienze e di nuove conoscenze, di quanto non siano le varie discipline con i loro contatti più stretti con l'esperienza. Nella connessione dei fondamenti con tutte le singole parti sta il suo grande significato, ma anche il suo pericolo più grande di fronte a ogni nuovo fattore. Quando si sia coscienti di ciò è naturale chiedersi perché le cosiddette epoche rivoluzionarie della fisica non ne abbiano più spesso e più radicalmente mutato i fondamenti di quanto non sia avvenuto in realtà.

Il primo tentativo di costruire una base teorica uniforme è rappresentato dall'opera di Newton. Nel suo sistema ogni cosa viene ridotta ai seguenti concetti: 1) punto materiale con massa invariabile; 2) azione a distanza fra una coppia qualsiasi di punti materiali; 3) legge del moto per il punto materiale. Non vi era, a rigore, un fondamento onnicomprensivo, in quanto una legge esplicita veniva formulata soltanto per le azioni a distanza della gravitazione, mentre per le altre azioni a distanza nulla veniva stabilito *a priori*, salvo una legge di uguaglianza fra azione e reazione. Tuttavia, lo stesso Newton aveva compreso che il tempo e lo spazio erano elementi essenziali, come fattori fisicamente efficaci del suo sistema, se non altro in via implicita.

Questa base newtoniana si dimostrò grandemente fruttuosa e fu considerata come definitiva fin verso la fine del secolo XIX. Non solo essa fornì risultati circa il moto dei corpi celesti, fin nei più minuti particolari, ma rese possibile anche una teoria della meccanica delle masse discrete e continue, una spiegazione semplice del principio della conservazione dell'energia e una teoria completa e brillante del calore. La spiegazione dei fenomeni elettrodinamici nell'ambito del sistema newtoniano risultò più forzata: meno convincente di tutte, fin dall'inizio, apparve la teoria della luce.

Non è sorprendente che Newton non prestasse attenzione a una teoria ondulatoria della luce: infatti, una tale teoria non si adattava

in alcun modo ai suoi fondamenti teorici. L'ipotesi che lo spazio fosse riempito da un mezzo costituito da punti materiali che propagassero le onde di luce senza rivelare nessun'altra proprietà meccanica, deve essergli sembrata molto artificiosa. Gli argomenti più forti in favore della natura ondulatoria della luce (velocità costante di propagazione, interferenza, diffrazione, polarizzazione) erano ancora sconosciuti o non ancora noti in una sintesi ben ordinata. Era giustificato che egli si attenesse alla propria teoria corpuscolare della luce.

Durante il secolo XIX la disputa si risolse in favore della teoria ondulatoria. Eppure, non emerse nessun serio dubbio circa il fondamento meccanico della fisica, principalmente perché nessuno sapeva dove andar a cercare un fondamento di qualche altro genere. Solo lentamente, sotto la pressione irresistibile dei fatti, si sviluppò un nuovo fondamento della fisica, la fisica dei campi.

Fin dai tempi di Newton, la teoria dell'azione a distanza fu sempre considerata artificiosa. Non mancarono sforzi per spiegare la gravitazione mediante una teoria cinetica, vale a dire sulla base di forze di collisione di ipotetiche particelle dotate di massa. Ma i tentativi erano superficiali e non diedero alcun frutto. La strana parte che aveva lo spazio (o il sistema inerziale) nell'ambito del fondamento meccanico fu anche molto ben compresa e criticata con particolare chiarezza da Ernst Mach.

La grande svolta fu opera di Faraday, Maxwell e Hertz, in realtà in modo non del tutto cosciente e contro la loro stessa volontà. Tutti e tre, nel corso della loro esistenza, si considerarono in accordo con la teoria meccanica. Hertz aveva scoperto la forma più semplice delle equazioni del campo elettromagnetico, e aveva dichiarato che ogni teoria che conducesse a queste equazioni altro non era che la teoria maxwelliana. Eppure, verso la fine della sua breve vita egli scrisse un testo in cui presentava quale fondamento della fisica una teoria meccanica in cui non compariva il concetto di forza.

Per chi, come noi, ha assimilato le idee di Faraday, per così dire, con il latte materno, è difficile apprezzare la loro grandezza e la loro audacia. Faraday deve aver afferrato con istinto infallibile la natura artificiosa di tutti i tentativi volti a riportare i fenomeni elettromagnetici ad azioni a distanza fra particelle elettriche reagenti le une sulle altre. Come faceva ogni singolo pezzettino di limatura di ferro, in mezzo a infiniti altri, a muoversi su un pezzo di carta e a sapere tutto delle singole particelle elettriche scorrenti in un conduttore

vicino? Tutte insieme, queste particelle elettriche sembravano creare nello spazio circostante una condizione che a sua volta produceva un certo ordine nella limatura di ferro. Questi stati spaziali, oggi chiamati campi, se la loro struttura geometrica e la loro azione interdipendente fossero state giustamente comprese, avrebbero fornito, egli ne era sicuro, la chiave per cogliere le misteriose interazioni elettromagnetiche. Egli concepiva questi campi come stati di tensione meccanica in un mezzo occupante lo spazio, simili agli stati di tensione in un corpo deformato elasticamente. In effetti, a quel tempo questa era l'unica maniera per poter concepire degli stati che erano chiaramente distribuiti in maniera continua nello spazio. Il particolare tipo di interpretazione meccanica di questi campi restava nello sfondo come una sorta di contentino dato alla coscienza scientifica, in omaggio alla tradizione meccanica del tempo. Grazie a questi nuovi concetti di campo Faraday riuscì a formare un concetto qualitativo di tutto il complesso degli effetti elettromagnetici scoperti da lui e dai suoi predecessori. La formulazione precisa delle leggi spazio-temporali di questi campi costituisce l'opera di Maxwell. Immaginate quello che provò quando le equazioni differenziali che aveva formulato gli dimostrarono che il campo elettromagnetico si propagava in forma di onde polarizzate e con la velocità della luce! A pochi uomini al mondo è stata concessa una tale esperienza. In quel momento emozionante certo non pensò minuziosamente che l'ambigua natura della luce, apparentemente spiegata in maniera così completa, avrebbe continuato a frustrare gli sforzi delle generazioni successive. Nel frattempo ci vollero alcune decine d'anni perché i fisici comprendessero pienamente il significato della scoperta di Maxwell, tanto audace fu il salto che questo genio fece fare alle concezioni dei suoi colleghi. Soltanto dopo che Hertz ebbe dimostrato sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche di Maxwell, cadde la resistenza a questa nuova teoria.

Ma se il campo elettromagnetico poteva esistere come un'onda indipendente dalla sorgente materiale, allora l'interazione elettrostatica non poteva più essere spiegata come un'azione a distanza. E ciò che era vero per l'azione elettrica non si poteva negare per la gravitazione. Ovunque, le azioni a distanza newtoniane lasciavano il posto a campi che si propagavano con una velocità finita.

Delle basi gettate da Newton restava esclusivamente il punto materiale soggetto alla legge del moto. Ma Joseph John Thomson

fece notare che un corpo in moto elettricamente carico deve, secondo la teoria di Maxwell, possedere un campo magnetico la cui energia si comporta esattamente come energia cinetica aggiuntiva del corpo. Se, allora, una parte dell'energia cinetica consiste di energia di campo, non potrebbe esser vero questo per tutta quanta l'energia cinetica? Forse la proprietà basilare della materia, la sua inerzia, potrebbe trovare una spiegazione nell'ambito della teoria di campo? La questione conduceva al problema di trovare un'interpretazione della materia nel quadro di una teoria di campo, ciò che avrebbe fornito una spiegazione della struttura atomica della materia. Ci si accorse presto che la teoria di Maxwell non poteva realizzare un tale programma. Fin da allora molti scienziati hanno instancabilmente cercato di completare la teoria di campo mediante qualche generalizzazione che riuscisse a comprendere una teoria della materia; per ora, tuttavia, tali sforzi non sono stati coronati da successo. Per costruire una teoria non è sufficiente avere un'idea chiara dell'obiettivo che ci si propone. Si deve avere anche un punto di vista formale che restringa sufficientemente l'illimitata varietà delle possibilità. Finora questo non è stato trovato; di conseguenza, la teoria di campo non è riuscita a fornire un fondamento per tutta quanta la fisica.

Per parecchi decenni la maggior parte dei fisici restò aggrappata alla convinzione che prima o poi si sarebbe trovato un substrato meccanico per la teoria di Maxwell. Ma gli insoddisfacenti risultati dei loro sforzi condussero alla graduale accettazione dei nuovi concetti di campo come fondamenti irriducibili; in altre parole, i fisici si rassegnarono a rinunciare all'idea di un fondamento meccanico. [...]

La teoria della relatività sorse dagli sforzi di migliorare, con riguardo all'economia logica, i fondamenti della fisica quali si presentavano alla fine del secolo. La cosiddetta teoria della relatività ristretta è basata sul fatto che le equazioni di Maxwell (e quindi le leggi della propagazione della luce nello spazio vuoto) vengono trasformate in equazioni della stessa forma quando sono sottoposte a una trasformazione di Lorentz. Questa proprietà formale delle equazioni di Maxwell è fornita dalla nostra conoscenza empirica, abbastanza sicura, del fatto che le leggi della fisica sono le stesse rispetto a tutti i sistemi inerziali. Questo porta al risultato che la trasformazione di Lorentz, applicata alle coordinate spaziali e temporali, deve operare il passaggio da un sistema inerziale a un altro qualsiasi. Il contenuto della teoria della relatività ri-

stretta può di conseguenza essere sintetizzato in una sola proposizione: tutte le leggi naturali devono essere invarianti rispetto alle trasformazioni di Lorentz. Da ciò segue che la simultaneità di due eventi distanti non è un concetto invariante e che le dimensioni dei corpi rigidi e il ritmo degli orologi dipendono dal loro stato di moto. Un'ulteriore conseguenza fu la modificazione della legge del moto di Newton nei casi in cui la velocità di un dato corpo non è piccola rispetto alla velocità della luce. Ne seguì anche il principio di equivalenza fra massa ed energia, con la conseguenza che le leggi di conservazione della massa e dell'energia diventano la stessa cosa. Una volta dimostrato che la simultaneità era relativa e dipendeva dal sistema di riferimento, ogni possibilità di conservare azioni a distanza nell'ambito dei fondamenti della fisica scomparve, dato che tale concetto presupponeva il carattere assoluto della simultaneità (deve essere possibile precisare la posizione delle due masse interagenti "nello stesso istante").

La teoria generale della relatività deve la sua origine al tentativo di spiegare un fatto noto già ai tempi di Galilei e di Newton, ma fino ad allora sfuggito a tutte le interpretazioni teoriche: l'inerzia e il peso di un corpo, due cose di per se stesse distinte, sono misurati da una stessa costante: la massa. Da questa corrispondenza segue che è impossibile scoprire mediante un esperimento se un sistema è accelerato o se il suo moto è rettilineo e uniforme e gli effetti osservati sono dovuti a un campo gravitazionale (principio di equivalenza della teoria della relatività generale). Il concetto di sistema inerziale viene così distrutto non appena interviene la gravitazione. Si può osservare, a questo punto, che il sistema inerziale costituisce un punto debole della meccanica galileiana e newtoniana. Infatti, in essa si presuppone una proprietà misteriosa dello spazio fisico, che condiziona i tipi di sistemi di coordinate per i quali il principio d'inerzia e la legge newtoniana del moto sono validi.

Queste difficoltà possono venire evitate dal seguente postulato: le leggi naturali devono essere formulate in maniera tale che la loro forma sia identica per sistemi di coordinate dotati di uno stato di moto qualsiasi. Realizzare questo programma è l'obiettivo della teoria della relatività generale. D'altra parte, noi deduciamo dalla teoria della relatività ristretta l'esistenza di una metrica riemanniana nel continuo spazio-temporale, la quale, secondo il principio di equivalenza, descrive sia il campo gravitazionale sia le proprietà

metriche dello spazio. Supponendo che le equazioni di campo della gravitazione siano delle equazioni differenziali del secondo ordine, la legge del campo risulta chiaramente determinata.

A parte questo risultato, la teoria libera la fisica dei campi dall'incapacità di cui soffriva, insieme alla meccanica di Newton, di ascrivere allo spazio quelle proprietà fisiche indipendenti che fino ad allora l'uso di un sistema inerziale aveva tenuto celate. Non si può tuttavia affermare che quelle parti della teoria della relatività generale che si possono considerare oggi come definitive, abbiano fornito alla fisica una base completa e soddisfacente. In primo luogo, il campo totale appare in essa come composto da due parti logicamente sconnesse, quella gravitazionale e quella elettromagnetica. In secondo luogo, questa teoria, come le teorie di campo precedenti, non ha per ora fornito una spiegazione della struttura atomica della materia. Questo insuccesso è probabilmente collegato al fatto che finora essa non ha contribuito per nulla alla comprensione dei fenomeni quantici. Per prendere in considerazione questi fenomeni, i fisici sono stati spinti ad adottare nuovi metodi, di cui ora discuteremo le caratteristiche fondamentali.

Nell'anno 1900, nel corso di un'indagine puramente teorica, Max Planck fece una scoperta notevole: la legge della radiazione dei corpi in funzione della temperatura non poteva venire dedotta semplicemente dalle leggi dell'elettrodinamica maxwelliana. Per arrivare a risultati in accordo con i relativi esperimenti, la radiazione di una data frequenza doveva venire trattata come se fosse costituita da atomi di energia, ciascuno di energia $h\nu$, dove h è la costante universale di Planck. Durante gli anni seguenti fu dimostrato che la luce era sempre prodotta e assorbita secondo tali quanti di energia. In particolare, Niels Bohr riuscì a capire molto bene la struttura dell'atomo, nell'ipotesi che gli atomi possano avere solo valori discreti dell'energia, e che le transizioni discontinue fra questi valori siano collegate con l'emissione o l'assorbimento di un tale quanto di energia. Tutto ciò gettò un poco di luce sul fatto che nel loro stato gassoso gli elementi e i loro composti irradiano e assorbono solo luce di certe frequenze nettamente definite. Tutto ciò era completamente inspiegabile nello schema delle teorie fino ad allora esistenti. Era chiaro che, almeno nel campo dei fenomeni atomici, il carattere di ogni evento è determinato da stati discreti e da transizioni evidentemente discontinue fra tali

stati, e che la costante h di Planck ha una funzione fondamentale.

Il passo successivo fu compiuto da de Broglie. Egli si chiese in quale maniera gli stati discreti potessero essere spiegati con l'aiuto dei concetti correnti, e stabilì un parallelismo con le onde stazionarie, quali si trovano per esempio nelle corde d'organo o nelle corde vibranti. È vero, azioni a carattere ondulatorio di questo genere erano sconosciute; ma esse potevano essere costruite, e le loro leggi matematiche formulate, impiegando la costante h di Planck. De Broglie concepì un elettrone rotante intorno al nucleo atomico come connesso a un tale ipotetico treno d'onde, e rese comprensibile, in certa misura, il carattere discreto delle orbite "permesse" di Bohr, mediante il carattere stazionario delle onde corrispondenti.

Ora, in meccanica, il moto di punti materiali è determinato dalle forze o dai campi di forza agenti su di essi. Perciò ci si doveva attendere che quei campi di forze influenzassero anche i campi d'onda di de Broglie in maniera analoga. Erwin Schrödinger mostrò come una tale influenza dovesse essere presa in considerazione, reinterpretando con un metodo ingegnoso certe formulazioni della meccanica classica. Egli riuscì anche a sviluppare la teoria quantomeccanica a un punto tale che, senza l'introduzione di alcun'altra ipotesi, essa divenne applicabile a un qualsiasi sistema meccanico composto di un numero arbitrario di punti materiali, vale a dire con un numero arbitrario di gradi di libertà. Ciò fu possibile in quanto un sistema meccanico composto di n punti materiali è matematicamente equivalente, con grande approssimazione, a un singolo punto materiale moventesi in uno spazio a $3n$ dimensioni.

Sulla base di questa teoria si ottenne una rappresentazione sorprendentemente esatta di una sterminata quantità di fenomeni apparentemente inspiegabili. In un caso, però, la teoria fece fiasco: non fu, infatti, possibile associare a queste onde di Schrödinger dei moti *definiti* di punti materiali, mentre questo, dopo tutto, era stato lo scopo originario dell'intera costruzione.

La difficoltà apparve insormontabile, finché fu superata da Born in un modo tanto semplice quanto inatteso. I campi d'onda di de Broglie e Schrödinger non dovevano essere interpretati come una descrizione matematica delle modalità con le quali un evento si verifica nello spazio e nel tempo, sebbene naturalmente essi si riferiscano a un tale evento. Essi rappresentano piuttosto una descrizione matematica di ciò che noi in realtà possiamo conoscere di tale siste-

ma, e servono soltanto a fare dichiarazioni e previsioni statistiche dei risultati di tutte le misure che possiamo eseguire sul sistema. [...]

Lo scopo della teoria è di determinare la probabilità dei risultati di misure eseguite su un sistema a un dato istante. D'altra parte essa non fa alcun tentativo di fornire una rappresentazione matematica di quello che è in realtà presente o che si muove nello spazio e nel tempo. Su questo punto la odierna teoria dei quanti differisce in modo fondamentale da tutte le precedenti teorie fisiche, sia meccanicistiche sia di campo. Invece di una descrizione deterministica degli eventi spazio-temporali reali, essa fornisce le distribuzioni probabilistiche delle possibili misure in funzione nel tempo.

Si deve ammettere che la nuova concezione teorica deve le sue origini non a un volo della fantasia ma alla forza impellente dei fatti dell'esperienza. Tutti i tentativi di rappresentare le caratteristiche corpuscolari e ondulatorie, mostrate dai fenomeni della luce e della materia, mediante un ricorso diretto a un modello spazio-temporale, si sono finora conclusi in tanti insuccessi. Heisenberg ha dimostrato in modo convincente, da un punto di vista empirico, che ogni decisione, per quanto riguarda una struttura rigorosamente deterministica della natura, è definitivamente scartata, a causa della struttura atomica del nostro apparato sperimentale. Così è probabilmente fuori questione il fatto che ogni futura conoscenza possa costringere la fisica ad abbandonare di nuovo i nostri attuali fondamenti teorici statistici in favore di altri, deterministici, che si riferiscano direttamente alla realtà fisica. Logicamente il problema sembra offrire due possibilità tra le quali, in linea di principio, ci è dato di scegliere. In sostanza la scelta sarà fatta tenendo conto del tipo di descrizione che fornisce la formulazione dei fondamenti più semplici dal punto di vista logico. Attualmente, siamo del tutto privi di una qualsiasi teoria deterministica che descriva direttamente gli eventi in sé stessi e in consonanza con i fatti. [...]

Alcuni fisici, tra i quali io, non riescono a credere che si debba abbandonare, subito e per sempre, l'idea di una rappresentazione diretta della realtà fisica nello spazio e nel tempo; oppure che si debba accettare il punto di vista secondo cui gli eventi naturali sono come un gioco del caso. È dato a ogni uomo di scegliere la direzione del proprio sforzo; e inoltre ogni uomo può trarre un conforto dalle meravigliose parole di Lessing, secondo cui la ricerca della verità è più preziosa del suo possesso.

Niels Bohr

Natura e culture

"Nella storia della scienza, pochi eventi hanno avuto, nel breve giro di una generazione, conseguenze così straordinarie quanto quelle della scoperta di Planck del quanto elementare d'azione. Tale scoperta [...] ha prodotto [...] una radicale trasformazione dei fondamenti stessi della descrizione dei fenomeni naturali. Assistiamo qui a uno sviluppo ininterrotto di punti di vista e di strumenti concettuali che, iniziato coi fondamentali lavori di Planck sulla radiazione del corpo nero, ha raggiunto negli ultimi anni il suo culmine con la formulazione della meccanica quantistica simbolica [cioè la meccanica delle matrici, vedi p. 175]. " Così nel 1929 Niels Bohr (1885-1962), il "danese tranquillo", ricostruiva quella grande rivoluzione scientifica che in meno di trent'anni doveva cambiare il volto della fisica. Figlio del fisiologo Christian Bohr (1855-1911), Niels era cresciuto in un ambiente favorevole allo sviluppo di interessi sia scientifici – il fratello Harald ebbe una brillante carriera matematica – sia filosofici. Entrato all'Università nel 1903, Bohr vi conseguì il dottorato con una dissertazione sulla teoria elettronica dei metalli (1911). Convinto ormai delle difficoltà della fisica abitualmente detta "classica" a rendere conto delle proprietà della materia, proseguì gli studi a Cambridge con Joseph John Thomson (1856-1940), uno dei pionieri nello studio della struttura dell'atomo. Si rivolse quindi al grande Ernest Rutherford (1871-1937), allora all'Università di Manchester, con il quale passò gli ultimi tre mesi del suo soggiorno in Inghilterra, prima di rientrare in patria dove aveva ottenuto una posizione di associato (1913). A Copenhagen si sposò, e uno dei figli, Aage (nato nel 1922), diventerà un fisico di grande rilievo.

Rutherford aveva allora appena formulato il suo modello di atomo, che postulava l'esistenza di un "nucleo" in cui era concentrato il grosso della massa atomica, mentre l'intera carica positiva contenuta nell'atomo implicava che gli elettroni (particelle cariche negativamente) descrivessero intorno al nucleo le loro orbite. Secondo le leggi dell'elettrodinamica maxwelliana, però, essi avrebbero dovuto perdere energia per irraggiamento, e quindi sarebbe venuta meno la stabilità dell'atomo. Il fisico Johann

Jakob Balmer (1825-1898) aveva individuato una formula semplice per rappresentare le righe spettrali dell'atomo di idrogeno, che mostrava come le frequenze potessero risultare dalla differenza di due termini, il valore di ciascuno dei quali era fissato da un numero intero. Proprio la relazione ($E = h\nu$) di Planck tra l'energia E e la frequenza ν di un oscillatore – dove $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ è la costante di Planck – suggeriva che si potesse ottenere la formula di Balmer supponendo che l'emissione avvenisse in corrispondenza del "salto" compiuto da un elettrone tra due livelli energetici separati da un intervallo discreto. Bohr pubblica il suo modello atomico "quantistico" nel 1913. Apparentemente sembra "falsificato" dalla serie di righe spettrali che prende il nome dal fisico statunitense Edward Charles Pickering (1846-1919). Di fronte a quello che la comunità scientifica considerava uno scacco, Bohr congetturava che tale serie non riguardasse l'atomo di idrogeno, bensì quello di elio. Non si trattava di una mossa *ad hoc*, cioè di un "espedito artificiale" (vedi p. 312), bensì di una brillante corroborazione (per ricorrere alla terminologia di Popper, vedi p. 246). Varie misure effettuate in seguito su campioni di elio accuratamente depurati dell'idrogeno residuo mostrano la correttezza della congettura. Impressionato favorevolmente, Rutherford offre un posto a Manchester al giovane danese, che accetta, restandovi fino al 1916, per poi tornare a Copenhagen dove è stata creata per lui una cattedra di fisica teorica.

Lasciamo ora la parola a un cronista di eccezione, Wolfgang Pauli (1900-1958): "Nel 1920 venne fondato l'Istituto di fisica teorica. Presto questo istituto di Copenhagen divenne la 'capitale della fisica atomica', trasformandosi in centro di attrazione per gli scienziati di tutte le parti del nostro pianeta. Come direttore del laboratorio annesso all'istituto, Bohr ebbe la possibilità di accompagnare il lavoro teorico con la ricerca sperimentale, di cui si era interessato vivamente fin dalla prima giovinezza. La scoperta dell'elemento *dfrío* in questo laboratorio da parte di Coster ed Hevesy fu il risultato di una stretta collaborazione tra teorici e sperimentali, come anche tra fisica e chimica, che nella teoria della struttura atomica di Bohr avevano trovato per la prima volta fondamenti comuni. Come la teoria di Bohr riuniva branche della scienza fino ad allora separate, così Bohr stesso nei suoi discorsi ai congressi internazionali e alle conferenze tenute a Copenhagen, che egli usava preparare con cura, venne integrando i diversi punti di vista scientifici e le diverse impostazioni epistemologiche". Negli anni immediatamente successivi al periodo di Manchester, Bohr doveva sottolineare come il suo modello permettesse una *visualizzazione* dell'atomo quasi fosse un sistema solare in miniatura. Eppure, l'analogia era discutibile, in quanto nelle transizioni tra i livelli non si potevano attribuire agli elettroni traiettorie continue, dato che ciò avrebbe comportato il passaggio per stadi intermedi esclusi dalla stessa teoria di Bohr. Tuttavia, quel modello, "basato su fondamenti tipicamente incoerenti", come scriverà Imre Lakatos – un misto di risultati della fisica classica e di assunzioni in

contrasto con alcune delle sue leggi –, doveva passare di successo in successo, grazie anzitutto all'opera di Arnold Sommerfeld (1868-1951), al quale si deve la creazione di una prima "meccanica atomica" quantistica. Tra il 1913 e il 1914, James Franck (1882-1964) e Gustav Ludwig Hertz (1887-1975, nipote del celebre Heinrich) avrebbero corroborato sperimentalmente l'esistenza di livelli atomici discreti. Sempre più consapevolmente, come ribadirà nel 1929, che le sue stesse teorizzazioni avrebbero finito con il comportare "una rinuncia al modo di descrizione spazio-temporale causale che caratterizza le teorie fisiche classiche", Bohr doveva pervenire a una sorta di conciliazione tra gli assunti quantistici e la meccanica e l'elettromagnetismo "classici", formulando il suo principio di corrispondenza (1918-1920), secondo cui gli assunti quantistici dovrebbero condurre a risultati classici in ben individuati casi limite. (Un'intera letteratura ha poi sottolineato la portata di un principio di corrispondenza generalizzato ogni qualvolta che una nuova teoria sembra contraddire ma anche correggere i risultati di una precedente o di una rivale, consentendo però in determinati casi limite un buon accordo numerico.)

Premio Nobel (1922) per il suo modello atomico, Bohr si dimostra riluttante a intraprendere una drastica rivalutazione di concezioni tradizionali come quella ondulatoria della luce. A questa preoccupazione risponde la teoria elaborata in un fondamentale articolo del 1924 insieme a Hendrick Anton Kramers (1894-1952) e John Clarke Slater (1900-1976), nel quale Bohr fa letteralmente di tutto per evitare di attribuire proprietà corpuscolari alla radiazione, in aperto contrasto con quel filone di studi originato dalla spiegazione einsteiniana dell'effetto fotoelettrico fornita nella memoria del 1905 (vedi p. 148). La teoria BKS sarà aspramente criticata, ma è noto che un teorema ottenuto da Kramers sulla dispersione della luce avrebbe spianato la strada alla nuova "meccanica delle matrici". Bohr fu tra i primi a intuire che sotto il profilo matematico la meccanica delle matrici e la meccanica ondulatoria di Erwin Schrödinger (1887-1961) erano "equivalenti". Sul piano fisico restavano però importanti problemi interpretativi. Max Born (1882-1970) presenterà un'interpretazione statistica della funzione d'onda di Schrödinger, mentre Werner Heisenberg segnerà una svolta, anche epistemologica, con il suo principio di indeterminazione (vedi p. 175). Infine, nel settembre 1927, in occasione di un convegno tenuto a Como per celebrare il centenario della morte di Alessandro Volta (1745-1827), Bohr ritiene di poter rendere conto del "dualismo onda-corpuscolo" *nella luce e nella materia* ricorrendo all'idea filosofica espressa nel suo principio di complementarietà (vedi qui p. 168).

Come scrive ancora Pauli, "la meccanica ondulatoria o quantistica [...] si può considerare come la chiave per la traduzione della teoria classica in un linguaggio quantistico, compatibile con l'esistenza del quanto d'azione. Per tale traduzione si era rivelato eccellente strumento il formalismo canonico, che deriva la forma delle leggi del moto dalla cosiddetta funzione hamilton-

niana [dal nome di William Rowan Hamilton]. Tuttavia, nel derivare la forma della funzione hamiltoniana dalla teoria classica, la meccanica quantistica acquisita anche un dualismo nei suoi fondamenti, cioè i concetti della meccanica delle particelle e i concetti della teoria del campo elettromagnetico". Occorre aggiungere che Bohr vedeva tutto questo come la realizzazione di un programma già *in nuce* nel principio di corrispondenza. Negli anni successivi il "danese tranquillo" doveva estendere l'idea della complementarità dalla sua nicchia originaria (la fisica atomica) al complesso delle scienze fisico-chimiche, nonché alle stesse scienze della vita. L'articolo che qui riportiamo integralmente sfiora non pochi dei temi divenuti centrali in filosofia della scienza, dalla natura degli oggetti fisici al complesso rapporto tra le forme del vivente e la loro base fisico-chimica, per non dire delle escursioni di Bohr nel campo della psicologia e delle scienze sociali (si veda in particolare la sua apparente digressione sulle difficoltà dell'etnologo di fronte alle cosiddette culture primitive, che può suonare quasi come un'anticipazione di alcune tesi di Quine e di Feyerabend qui a p. 271 e a p. 318-319).

Tale articolo compare in italiano in un'antologia, *I quanti e la vita*, dove figurano anche altri contributi di Bohr nei quali egli è andato approfondendo l'idea di una "riduzione" del biologico al fisico, specie dopo i grandi successi della biologia molecolare. Al celebre scontro con Einstein si è accennato a p. 148. Dagli anni Trenta Bohr aveva rivolto la propria attenzione al problema della struttura del nucleo atomico, proponendone un modello retto da un'analogia delle forze agenti tra nucleoni con le forze che operano fra molecole nel dar luogo alla formazione di una goccia di liquido. Il più notevole successo di questo *Liquid-Drop Model* (1936) si ebbe con l'applicazione, in collaborazione con John Archibald Wheeler, alla spiegazione del processo di fissione – dovuta a Otto Hahn (1879-1968), Fritz Strassmann (1902-1980) e soprattutto Lise Meitner (1878-1968) – visto a due stadi, il primo di eccitazione per cattura della particella incidente, il secondo di decadimento.

Durante i primi anni della seconda guerra mondiale Bohr continuò a lavorare all'Istituto, che lasciò solo nel 1943, allorché fu avvertito che era in pericolo di vita. Fuggito in Svezia con la famiglia su una barca da pesca, raggiunse in seguito l'Inghilterra, e quindi gli Stati Uniti. Qui Niels e Haaage furono coinvolti da Julius Robert Oppenheimer nel celebre progetto Manhattan. Nella discussione sulla fissione Bohr e Wheeler formularono la congettura fortunata che solo l'isotopo 235, presente per una parte su centoguaranta nell'uranio naturale, fosse effettivamente fissile. In seguito Bohr si prodigò nel tentativo di sottrarre ai militari il controllo dell'"arma atomica", insistendo sullo sviluppo degli usi pacifici del nucleare (spesso con risultati deludenti: quell'uomo "non mi è piaciuto affatto con tutti quei grilli per la testa", fu il giudizio di Winston Churchill già dopo un incontro del maggio 1944). L'Istituto di Copenhagen porta oggi il suo nome, e Niels fu uno dei membri fondatori del CERN di Ginevra. Chiudiamo con

un ricordo personale di Paul Feyerabend che ebbe modo di conoscere in gioventù Bohr e di restarne affascinato. Nella sua autobiografia scrive: "Anni dopo sognai di rincontrare Bohr, che mi riconosceva e mi chiedeva un parere su delle questioni importanti: deve essermi rimasto impresso. D'altro canto ho anche sognato di aver fornito dei consigli a Stalin, ma lui non l'ho mai incontrato".

Le pagine che seguono sono tratte da N. Bohr, "Natural Philosophy and Human Cultures", in *Nature*, 143, 268 (1939); ripreso anche in *Atomic Physics and Human Knowledge*, Wiley, New York 1958; tr. it. di P. Gulmanelli, "Filosofia naturale e culture umane", in *I quanti e la vita*, Bollati Boringhieri, Torino 1965, pp. 49-57.

Di Bohr si veda anche: *Teoria dell'atomo e conoscenza umana*, tr. it. Boringhieri, Torino 1961.

Per approfondire: S. Boffi, *Il postulato dei quanti e il significato della funzione d'onda*, Bibliopolis, Napoli 1996; N. Bohr, W. Pauli, L. Rosenfeld e V.F. Weisskopf, *Niels Bohr and the Development of Physics: Essays Dedicated to N. Bohr on the Occasion of his Seventieth Birthday*, a cura di W. Pauli, Pergamon Press, Oxford 1955; L. de Broglie, E. Schrödinger e W. Heisenberg, *Onde e particelle in armonia – Alle sorgenti della meccanica quantistica*, tr. it. a cura di S. Boffi, Jaca Book, Milano 1991; C. Chevalley, "Complémentarité et langage dans l'interprétation de Copenhague", in *Revue d'Histoire des Sciences*, 38, 314 (1985), pp. 251-292; A.C. Crombie (a cura di), *Svolte decisive in fisica*, tr. it. Boringhieri, Torino 1961; P.A.M. Dirac, *I principi della meccanica quantistica*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1976; G.C. Ghirardi, "I fondamenti concettuali e le implicazioni epistemologiche della meccanica quantistica", in G. Boniolo (a cura di), *Filosofia della fisica*, Bruno Mondadori, Milano 1997, pp. 337-563; R. Gilmore, *Alice nel paese dei quanti. Le avventure della fisica*, tr. it. con prefazione di M.L. Dalla Chiara, Raffaello Cortina, Milano 1996; F. Laudisa, *Le correlazioni pericolose: tra storia e filosofia della fisica contemporanea*, Il Poligrafo, Padova 1998; J.R. Oppenheimer, *Energia atomica problema d'oggi*, tr. it. Boringhieri, Torino 1961; A. Pais, *Il danese tranquillo: Niels Bohr, un fisico e il suo tempo 1885-1962*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1993; W. Pauli, *Fisica e conoscenza*, tr. it. Boringhieri, Torino 1964; S. Petruccioli, *Atomi, metafore e paradossi. Niels Bohr e la costruzione di una nuova fisica*, Theoria, Roma 1988; M. Planck, *La conoscenza del mondo fisico*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1993; Id., *Scienza, filosofia e religione*, tr. it. a cura di P. Selvaggi, Fabbri, Milano 1965; A. Plouinitsky, *Complementarity*, Duke University Press, Durham 1994; J.C. Polkinghorne, *Il mondo dei quanti*, tr. it. Garzanti, Milano 1986; N. Robotti, *I primi modelli dell'atomo, dall'elettone all'atomo di Bohr*, Loescher, Torino 1978; E. Schrödinger, *L'immagine del mondo*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1987; G. Tegliaferri, *Storia della fisica quantistica*, Franco Angeli, Milano 1985; G. Toraldo di Francia, *Le cose e i loro nomi*, Laterza, Roma-Bari 1986.

Mentre l'importanza che le grandi conquiste [della fisica] hanno per il nostro orientamento generale è comunemente riconosciuta, non si può forse dire altrettanto per l'imprevista lezione epistemologica che ci è venuta negli ultimi anni dall'aprirsi di nuovi campi di ricerca per la fisica. La nostra penetrazione nel mondo degli atomi, fin qui chiuso agli occhi dell'uomo, è in realtà un'avventura paragonabile ai grandi viaggi di scoperta dei circumnavigatori e alle esplorazioni degli astronomi nelle profondità degli spazi celesti. Com'è ben noto, il meraviglioso sviluppo dell'arte della sperimentazione fisica non solo ha cancellato del tutto la vecchia credenza secondo cui la grossolanità dei nostri sensi ci avrebbe per sempre impedito di attingere direttamente ai singoli atomi, ma ha perfino mostrato che gli atomi sono costituiti da corpuscoli ancora più piccoli, che possono venire isolati e studiati separatamente. Nello stesso tempo abbiamo appreso, tuttavia, che le leggi naturali precedentemente note, di cui è costituito il grandioso edificio della fisica classica, sono valide solo per quei sistemi che comprendono un numero praticamente infinito di atomi. Infatti, le nuove conoscenze sul comportamento dei singoli atomi o componenti atomici hanno rivelato l'esistenza di un limite imprevisto alla suddivisione di ogni azione fisica, il cui significato supera di gran lunga la vecchia dottrina della limitata divisibilità della materia e attribuisce a ogni processo atomico un peculiare carattere d'individualità. Questa scoperta ha, in effetti, offerto una base affatto nuova alla comprensione della stabilità intrinseca della struttura atomica la quale, in ultima analisi, condiziona le regolarità che si manifestano in ogni ordinaria esperienza.

L'illustrazione più chiara del cambiamento radicale introdotto dallo sviluppo della fisica atomica nel nostro atteggiamento circa la descrizione della natura sta forse nel fatto che anche il principio di causalità, fin qui ritenuto fondamento indiscutibile di ogni interpretazione dei fenomeni naturali, si è rivelato incapace di abbracciare anche le regolarità caratteristiche dei processi atomici individuali. Ognuno comprende che i fisici devono aver avuto ragioni fortissime per rinunciare all'idea di causalità; d'altra parte, nello studio dei fenomeni atomici abbiamo visto ripetutamente problemi, ritenuti definitivamente risolti da lungo tempo, riservarci le più incredibili sorprese. Sono ben noti quei misteriosi aspetti delle più elementari proprietà della luce e della materia,

che hanno impegnato i fisici negli ultimi anni. Le contraddizioni incontrate in questo campo sono in effetti non meno acute di quelle che al principio del secolo diedero origine alla teoria della relatività e, come allora, hanno trovato soluzione solo attraverso un più attento esame dei limiti imposti dalle nuove esperienze all'uso coerente dei concetti impliciti nella descrizione dei fenomeni. Mentre il punto cruciale della teoria della relatività stava nel riconoscere i modi essenzialmente diversi secondo cui osservatori in moto relativo descrivono il comportamento di oggetti assegnati, il chiarimento dei paradossi della fisica atomica ha rivelato che l'inevitabile interazione degli oggetti con gli strumenti di misura pone un limite assoluto alla possibilità di parlare di comportamento degli oggetti atomici indipendentemente dai mezzi di osservazione.

Siamo con ciò di fronte a un problema epistemologico di natura totalmente nuova nella filosofia naturale, nella quale ogni descrizione di esperienze è stata fin qui basata sull'ipotesi, implicita già nelle ordinarie convenzioni del linguaggio, che è possibile distinguere nettamente il comportamento degli oggetti dai mezzi di osservazione. Questa ipotesi non solo è giustificata dall'esperienza di ogni giorno, ma costituisce anzi l'intera base della fisica classica, che dalla teoria della relatività è stata portata a così magnifico compimento. Non appena, però, entrano in gioco processi atomici individuali, che per la loro stessa natura sono essenzialmente determinati dall'interazione tra gli oggetti in questione e gli strumenti di misura, siamo costretti a chiederci che tipo di conoscenza siamo in grado di acquisire circa quegli oggetti. A questo riguardo dobbiamo, da un lato, osservare che lo scopo di ogni esperimento fisico – quello cioè di procurarci nuove informazioni in condizioni riproducibili e comunicabili – ci obbliga a usare concetti d'impiego quotidiano, tutt'al più raffinati dalla terminologia della fisica classica, per la descrizione non solo della costruzione e dell'uso degli strumenti di misura, ma anche dei risultati sperimentali ottenuti. D'altra parte, non è meno importante comprendere che proprio questa circostanza implica che nessun risultato di esperienze riguardanti fenomeni, che in linea di principio sono al di fuori dell'ambito della fisica classica, possa venire interpretato come un'informazione su proprietà indipendenti dell'oggetto, facendo esso parte intrinseca di un quadro in cui gli strumenti di misura interagenti col sistema stesso entrano in modo es-

senziale. Quest'ultima circostanza fornisce la spiegazione diretta delle evidenti contraddizioni che insorgono ogni volta che si tenta di riunire in un'unica coerente descrizione dell'oggetto i risultati ottenuti operando con dispositivi sperimentali diversi su un sistema atomico.

È però possibile riguardare l'informazione ottenuta circa il comportamento di un sistema atomico sotto certe condizioni sperimentali come *complementare*, secondo una terminologia spesso usata in fisica atomica, rispetto a ogni altra informazione sullo stesso sistema, ottenuta con un dispositivo escludente il verificarsi delle predette condizioni. Benché queste diverse informazioni non possano venire combinate in una sola descrizione per mezzo di concetti ordinari, esse costituiscono aspetti ugualmente essenziali della conoscenza che di quel sistema si può avere in questo campo. La scoperta di questo carattere complementare delle analogie meccaniche con cui si è cercato di visualizzare gli effetti individuali della radiazione, ha portato a un chiarimento assolutamente soddisfacente di quelle misteriose proprietà della luce cui alludevo più sopra. Similmente, solo tenendo conto della relazione di complementarità esistente tra differenti esperienze riguardanti il comportamento di particelle atomiche, è stato possibile dare una spiegazione del notevole contrasto esistente tra le proprietà dei modelli meccanici ordinari e le peculiari leggi di stabilità governanti le strutture atomiche, che costituiscono la base per qualsivoglia interpretazione delle proprietà fisiche e chimiche specifiche della materia.

Naturalmente non è mia intenzione soffermarmi oltre, in questa sede, su questo punto; ma spero di avere reso sufficientemente chiaro che non siamo assolutamente di fronte a una rinuncia arbitraria a una più dettagliata analisi della varietà sempre più ricca di esperienze nel campo dell'atomo. Al contrario, siamo in presenza di uno sviluppo razionale della nostra capacità di classificare e comprendere nuove esperienze, le quali per il loro stesso carattere non rientrano nello schema della descrizione causale, che può rendere conto solo del comportamento di sistemi non perturbati dai mezzi di osservazione. Lungi dal contenere qualunque misticismo estraneo allo spirito della scienza, il punto di vista della complementarità costituisce in realtà una coerente generalizzazione dell'idea di causalità.

Per quanto inconsueto possa sembrare questo sviluppo della fisica, sono certo che molti avranno riconosciuto la stretta analogia esistente tra la situazione nell'analisi dei fenomeni atomici, quale l'ho descritta, e certi aspetti caratteristici del problema dell'osservazione nel campo della psicologia. Si può dire che la tendenza della psicologia moderna è caratterizzata dalla reazione ai tentativi di analizzare l'esperienza psichica secondo elementi associabili in modo analogo a quanto viene fatto coi risultati delle misure nella fisica classica. Nel corso dell'introspezione è chiaramente impossibile distinguere nettamente tra i fenomeni di per sé e la loro percezione cosciente, e benché sia lecito parlare talvolta di attenzione concentrata su qualche aspetto particolare di un'esperienza psichica, a un più attento esame risulta che anche in quei casi si ha in realtà a che fare con situazioni mutuamente escludentisi. Tutti conosciamo la vecchia sentenza secondo la quale, se cerchiamo di analizzare le nostre emozioni, cessiamo di possederle; ed è in questo senso che tra le esperienze psichiche, cui noi associamo le parole "pensieri" e "sensazioni", riscontriamo una relazione di complementarità simile a quella esistente tra esperienze riguardanti il comportamento di atomi sotto differenti condizioni sperimentali, quando per la loro descrizione si faccia ricorso ad analogie derivate dai concetti ordinari. Con questo confronto non intendo, ovviamente, dimostrare l'esistenza di un rapporto più stretto tra fisica atomica e psicologia, ma soltanto sottolineare un argomento epistemologico comune a entrambe queste scienze e così indicare quanto la soluzione dei problemi relativamente semplici della fisica possa giovare al chiarimento delle più complesse questioni psicologiche che gli antropologi e gli etnologi incontrano nel corso delle loro ricerche.

Venendo ora più presso all'argomento del nostro discorso, cioè ai riflessi del punto di vista sopraesposto sul problema del confronto di differenti culture umane, sottolineerò anzitutto la tipica relazione di complementarità esistente tra quei modi del comportamento degli esseri viventi che vanno sotto il nome di "istinto" e "ragione". È vero che termini di questo tipo vengono usati spesso con significati molto diversi: così, istinto può significare comportamento ereditario o forza motivante, e ragione può denotare senso più profondo o argomentazione consapevole. Ciò che ci interessa è, tuttavia, solo il modo pratico in cui queste paro-

le sono usate per distinguere le diverse situazioni in cui animali e uomini vengono a trovarsi. Ovviamente nessuno negherà la nostra appartenenza al mondo animale, e sarebbe anzi difficile trovare una definizione atta a caratterizzare l'uomo tra gli altri animali. Infatti, le latenti possibilità di qualunque essere vivente non sono facilmente valutabili, e penso che nessuno di noi non sia rimasto qualche volta profondamente impressionato dal grado di ammaestramento cui possono venire portati taluni animali. Neppure rispetto alle possibilità di comunicazione tra un individuo e l'altro è possibile tracciare una netta separazione tra animale e uomo, anche se l'uso della parola ci pone a questo riguardo in una posizione essenzialmente diversa, non solo per lo scambio di esperienze pratiche, ma soprattutto per la possibilità di trasmettere ai figli, con l'educazione, le tradizioni riguardanti il costume e il pensiero che formano la base di ogni cultura umana.

Circa la contrapposizione di ragione e istinto è essenziale soprattutto rilevare che nessun vero pensiero è possibile senza l'uso di concetti espressi mediante qualche linguaggio, che ogni generalizzazione deve apprendere di bel nuovo. Quest'uso di concetti, in effetti, non solo sopprime in larga misura la vita istintiva, ma è in ampia relazione di complementarità con la manifestazione degli istinti ereditari. La sorprendente superiorità degli animali inferiori rispetto all'uomo per ciò che riguarda le possibilità naturali di conservazione e procreazione, trova certamente sovente spiegazione nel fatto che in quegli animali non è possibile riscontrare un pensiero coerente, nel senso che noi attribuiamo a questa parola. Similmente la straordinaria capacità dei cosiddetti primitivi di orientarsi tra le foreste o nel deserto, capacità scomparsa evidentemente nelle società più evolute, salvo ridestarsi occasionalmente in qualche individuo, potrebbe giustificare la conclusione che certi atti sono possibili solo se non si fa ricorso al pensiero concettuale, che d'altra parte si presta a ben più svariati impieghi d'importanza primaria per lo sviluppo della civiltà. Proprio perché non ancora desto all'uso dei concetti, un bambino appena nato può solo con difficoltà venire riconosciuto per un essere umano; ma per la sua appartenenza alla specie umana possiede, benché più inerme della maggior parte dei giovani animali, la capacità di assimilare con l'educazione una cultura, che lo abilita ad assumere il suo posto in una società umana.

Queste considerazioni ci portano direttamente a discutere se la diffusa credenza che ogni bambino nasce con la predisposizione ad adottare una specifica cultura umana sia ben fondata, o piuttosto non si debba ritenere che qualunque cultura possa venire innestata e svilupparsi su terreni fisici del tutto diversi. Con questo siamo venuti a toccare l'oggetto di ancora aperte controversie tra i genetisti, che conducono ricerche estremamente interessanti sull'ereditarietà dei caratteri fisici. In relazione con queste discussioni, tuttavia, dobbiamo soprattutto tenere ben presente il fatto che la distinzione tra i concetti di genotipo e di fenotipo, così feconda per la chiarificazione dei fenomeni ereditari nelle piante e negli animali, presuppone in modo essenziale un'influenza, anche se subordinata, delle condizioni biologiche esterne sulle proprietà caratteristiche delle specie. Nel caso dei caratteri culturali specifici delle società umane il problema è però rovesciato, nel senso che la base per la classificazione è ora il costume tradizionale plasmato dalle vicende storiche e dall'ambiente naturale di ciascuna società. Questo costume, e quanto esso corrispondentemente presuppone, va perciò analizzato nei particolari prima di poter valutare con qualche fondamento le possibili influenze delle differenze biologiche ereditarie sullo sviluppo e sulla conservazione delle culture in questione. In effetti, caratterizzando nazioni diverse o anche diverse famiglie nell'ambito di una stessa nazione, è possibile entro larghi limiti considerare i tratti biologici e le tradizioni spirituali reciprocamente indipendenti, e si sarebbe addirittura tentati di riservare per definizione l'aggettivo "umano" a quei caratteri che non sono direttamente legati all'ereditarietà corporea.

A prima vista potrebbe forse sembrare che il nostro atteggiamento si risolva nel porre un indebito accento su alcuni punti meramente dialettici. Ma la lezione che abbiamo appreso dall'intero sviluppo della fisica è che germi di fecondo sviluppo spesso stanno nella scelta opportuna di una definizione. Se pensiamo, per esempio, alla chiarificazione arrecata in svariati rami della scienza dalle argomentazioni della teoria della relatività, vediamo quanto progresso possa essere potenzialmente contenuto in certi perfezionamenti formali. Come ho già brevemente detto poco fa, il punto di vista della relatività può sicuramente giovare a determinare un atteggiamento più obiettivo nei confronti dei rapporti tra culture umane, le cui differenti tradizioni ricordano per molti ver-

si i vari ed equivalenti modi in cui una stessa esperienza fisica può venire descritta. Quest'analogia tra problemi fisici e umanistici è però di ampiezza limitata, e la sua esagerazione ha già portato talvolta a fraintendere l'essenza della teoria della relatività stessa. In effetti, l'unità della descrizione relativistica dell'Universo implica precisamente la possibilità per ogni osservatore di predire entro il proprio schema concettuale come qualunque altro osservatore coordinerà le esperienze entro lo schema a lui naturale. Il maggiore ostacolo che si oppone a un atteggiamento obiettivo nei confronti dei rapporti tra diverse culture umane sta tuttavia nelle differenze profondamente radicate dei substrati tradizionali, sui quali si basa l'armonia culturale delle singole società e che rendono impossibile un semplice confronto di queste culture.

È soprattutto a questo riguardo che il punto di vista della complementarietà si offre come il mezzo più adatto per affrontare il problema. Infatti, nello studio di culture umane differenti dalla nostra si ha a che fare con un particolare problema di osservazione, che a un esame più attento mostra molti aspetti in comune coi problemi della fisica atomica e della psicologia, nei quali l'interazione tra oggetto e apparato di misura, o l'inseparabilità di contenuto oggettivo e soggetto osservante, esclude l'impiego immediato delle convenzioni applicabili alle esperienze della vita quotidiana. Specie nello studio delle culture dei popoli primitivi, infatti, gli etnologi non solo sono ben consci del rischio di corruzione che il necessario contatto comporta per quelle culture, ma si trovano di fronte al problema delle reazioni di questi studi sul loro stesso comportamento umano. Sto alludendo, per esempio, alla prova cui gli inconsapevoli pregiudizi di un esploratore risulcano sottoposti dal contatto con forme insospettate di armonia interiore, che la vita umana può presentare sotto condizioni e tradizioni radicalmente diverse. Come esempio particolarmente drastico posso ricordare che in certe società le parti rappresentate dall'uomo e dalla donna sono entro ampi limiti rovesciate, non solo per ciò che riguarda i compiti sociali e domestici, ma anche per il comportamento e la mentalità. Anche se la maggior parte di noi, di fronte a una simile situazione, potrebbe forse sulle prime sottrarsi dall'ammettere la possibilità che sia interamente frutto di un capriccio del destino l'avere quel popolo la sua specifica cultura e noi la nostra, e non viceversa, è chiaro che anche il più piccolo

sospetto in questa direzione equivarrebbe a un tradimento di quello spirito di nazionalistica compiacenza che è presente in ogni cultura autonoma.

Ricorrendo al termine usato in fisica atomica per caratterizzare il rapporto intercorrente tra esperienze realizzate mediante differenti dispositivi sperimentali ed esprimibile solo in termini di certi mutuamente escludentisi, possiamo dire che le diverse culture umane sono complementari le une rispetto alle altre. Infatti, ognuna di queste culture rappresenta un bilancio armonico di convenzioni tradizionali per mezzo delle quali le potenzialità latenti della vita umana possono dispiegarsi e rivelarci nuovi aspetti della sua illimitata ricchezza e varietà. Naturalmente non si può trattare di relazioni assolutamente esclusive, come quelle relative a esperienze complementari sul comportamento di ben definiti sistemi atomici, poiché non credo esista alcuna cultura di cui si possa dire che è totalmente autonoma. Al contrario sappiamo da tanti esempi che contatti più o meno intimi tra differenti società umane possono portare a una graduale fusione di tradizioni con formazione, come risultato, di una nuova cultura. L'importanza che il rimesciamento delle popolazioni determinato dalle emigrazioni e dalle conquiste ha avuto per il progredire della civiltà non richiede alcun commento. È forse il maggiore tra gli scopi degli studi umanistici quello di contribuire con una conoscenza sempre più profonda della storia dello sviluppo culturale a quella graduale rimozione dei pregiudizi che è fine comune di tutte le scienze.

Werner Heisenberg

Lo sfondo filosofico della ricerca

“Comunemente si crede che la nostra scienza sia di tipo empirico e che i nostri concetti e i nostri nessi matematici derivino da dati empirici. Se ciò fosse completamente vero, addentrandoci in un nuovo campo, potremmo introdurre solo grandezze tali da potersi osservare direttamente e formulare le leggi naturali solo in virtù di queste grandezze. Quando ero giovane pensavo che Einstein nella sua teoria della relatività avesse seguito proprio questa filosofia. Perciò cercai di fare qualcosa di analogo nella teoria dei quanti, introducendo le matrici.” Retrospectivamente, in un articolo dedicato al ruolo della tradizione nella scienza (1963), Werner Heisenberg (1901-1986) descrive così la genesi della “meccanica delle matrici”, presentata originariamente nel 1926 in un celeberrimo articolo pubblicato in collaborazione con Max Born (1882-1970) ed Ernst Pascual Jordan (1902-1980). La meccanica delle matrici sarebbe stata poi identificata con una delle possibili versioni della meccanica quantistica. Successivamente, in un altrettanto importante articolo del 1927, Heisenberg riprendeva il suo programma di fondo, mostrando che, sulla base delle caratteristiche generali della nuova meccanica, il prodotto delle imprecisioni Δq e Δp con le quali si possono accertare posizione e quantità di moto di una particella non può mai scendere sotto il valore fissato dalla costante di Planck. Ciò non significa che non sia possibile localizzare entro limiti spaziali piccoli quanto si voglia una particella, o che non se ne possa misurare la quantità di moto con la precisione voluta, ma solo che le due operazioni non possono essere eseguite simultaneamente. Questo principio, noto come principio di “indeterminazione”, sancirebbe l'impossibilità di un determinismo laplaciano (così detto dal nome del grande matematico e fisico francese Pierre-Simon de Laplace), secondo cui sarebbe possibile calcolare l'intera storia dell'Universo, passata e futura, *una volta che fossero noti*, a un istante dato, la posizione e la velocità di ogni particella (vedi anche l'interessante riformulazione di Mill a p. 31 e le considerazioni di Geymonat a p. 262). Il principio di Heisenberg verrebbe quindi a contraddire tale “premessa”. Per i suoi lavori essenziali all'edificazione della meccanica quantistica Hei-

senberg ricevette il premio Nobel nel 1932. Ma i suoi contributi scientifici non si fermano qui. Basterà ricordare che, su sollecitazione dell'articolo (1927) di Paul Dirac (1902-1984) nel quale si presentano i lineamenti dell'elettrodinamica quantistica, Heisenberg e Wolfgang Pauli (1900-1958) dovevano elaborare (in due memorie del 1928 e 1929, la seconda delle quali teneva conto di un fondamentale lavoro di Enrico Fermi) una nuova versione di tale teoria, introducendo un metodo generale per la quantizzazione di qualsiasi campo, il che consentiva tra l'altro di puntualizzare il rapporto con l'elettrodinamica "classica" di Maxwell. Dopo la scoperta del neutrone (1932) da parte di James Chadwick (1891-1974), Heisenberg mostra come un nucleo formato da protoni e neutroni risulti (diversamente da quanto si ipotizzava ancora all'epoca) fisicamente più accettabile di uno formato da protoni ed elettroni! (Egli doveva quindi immaginare protone e neutrone come "strati" di una stessa particella, il nucleone, caratterizzati da valori diversi di una coordinata interna che ne differenzia il comportamento in un campo elettromagnetico esterno.)

Senza addentrarsi negli ulteriori contributi di Heisenberg e senza approfondire quanto abbiano influito i suoi contatti con personalità quali Martin Heidegger (1889-1976) e Kurt von Fritz (1935-1980) (ma un'eco di queste influenze si ritrova nelle pagine qui riportate), occorre dire che Heisenberg doveva revisionare le premesse epistemologiche del proprio programma. Per riprendere la ricostruzione retrospettiva da cui si è partiti, Heisenberg rammenta di aver chiesto un giorno a Einstein se a ispirare la relatività fosse stata davvero quella "filosofia" per cui è possibile formulare leggi naturali solo in termini di grandezze direttamente osservate, e di aver ricevuto la risposta: "Può darsi che questa sia stata la mia filosofia ma, nondimeno, si tratta di un'assurdità. Non è mai possibile introdurre in una teoria solo grandezze osservabili. Quello che si può osservare dipende sempre dalla teoria". E, glossa Heisenberg, "con queste parole Einstein voleva intendere che, quando dall'osservazione diretta – di una linea nera su una lastra fotografica, di una scarica in un contatore o qualcosa di simile – passiamo ai fenomeni ai quali siamo interessati, dobbiamo servirci di teoria e di concetti teorici. Non possiamo separare il processo di osservazione empirica dalla struttura matematica e dai suoi concetti". Heisenberg avrebbe ritrovato la migliore conferma di ciò nell'impressionante sviluppo della teoria della fisica delle particelle elementari. Ma era altrettanto convinto che la direzione dell'indagine di un fisico, o più in generale di uno scienziato, fosse particolarmente condizionata dai valori che il ricercatore tende a privilegiare rispetto ad altri. Egli stesso ricorderà che, discutendo (dopo la seconda guerra mondiale) con Enrico Fermi (1901-1954) del progetto di sperimentare nel Pacifico la prima bomba all'idrogeno, questi alle perplessità per le conseguenze "biologiche e politiche" gli replicò: "eppure, si tratta di un così bell'esperimento!". Per la cronaca, Heisenberg fu uno dei pochi fisici tedeschi a non lasciare la Germania nazista, ove diresse dal 1941 al

1945 il Kaiser Wilhelm Institut di Berlino. I fisici emigrati negli Stati Uniti temevano che, una volta compreso che la fissione consentiva la realizzazione di ordigni nucleari, la competenza di Heisenberg in materia avrebbe "regalato" armi potentissime alla Germania di Hitler. (In effetti egli fu posto a capo di un progetto del genere, il progetto Urano, ma in seguito dichiarò più volte di aver non mai avuto intenzione di favorire il Terzo Reich e di aver attentamente dissimulato il fatto che in qualità di direttore avrebbe potuto all'occorrenza sviare la realizzazione di quel progetto.) Alla fine del secondo conflitto mondiale, dopo un breve periodo di prigionia in Inghilterra, Heisenberg si fece promotore della realizzazione del Max Planck Institut di Fisica a Göttinga, che diresse a partire dal 1946. Nel 1958 si trasferì con l'istituto a Monaco. Dal 1950 si era impegnato con vari collaboratori a un programma di teoria unitaria delle particelle che non riscosse, però, un consenso generale.

Le pagine che seguono sono tratte da W. Heisenberg, "The Philosophical Background of Modern Physics", in *Gesammelte Werke*, 3 voll., a cura di W. Blum, H.P. Dürr e H. Reichenberg, Piper, München 1985, III vol., pp. 495-506; tr. it. "Lo sfondo filosofico della fisica moderna", in *Lo sfondo filosofico della fisica moderna*, a cura di G. Gemelli e E.A. Giannetto, Sellerio, Palermo 1999, pp. 41, 43-55.

Di Heisenberg si vedano anche: *I principi fisici della teoria dei quanti*, tr. it. Einaudi, Torino 1948; *Mutamenti nelle basi della scienza*, tr. it. Boringhieri, Torino 1978; *La tradizione nella scienza*, tr. it. Garzanti, Milano 1982; *Oltre le frontiere della scienza*, tr. it. Editori Riuniti, Roma 1984; *Fisica e oltre. Incontri con i protagonisti 1920-1965*, tr. it. Boringhieri, Torino 1984; *Natura e fisica moderna*, tr. it. Garzanti, Milano 1985; *Indeterminazione e realtà*, tr. it. a cura di G. Gemelli, Guida, Napoli 1991.

Per approfondire: C. Bernardini e L. Bonolis (a cura di) (*Conoscere Fermi: nel centenario della nascita, 29 settembre 1901-2001*, Editrice Compositori, Bologna 2001; L. Fermi, *Atomi in famiglia*, Mondadori, Milano 1965; G. Gemelli, *Werner Heisenberg – La filosofia di un fisico*, Giannini, Napoli 1987; G. Gregorio, G. Saiti e G. Gemelli (a cura di), *Indeterminazione e realtà*, Guida, Napoli 1991; M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, New York 1966; Id., *The Philosophy of Quantum Mechanics*, Wiley, New York 1974; P. Jordan, *L'immagine della fisica moderna*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1974; J. Mehra (a cura di), *The Physicist's Conception of Nature*, Reidel, Dordrecht 1973; J. Mehra e R. Reichenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, 5 voll., Springer, New York 1982-1987; C. Petruccioli (a cura di), *Immagini, linguaggi e concetti*, Theoria, Roma 1991; B.L. van der Waerden (a cura di), *Sources of Quantum Mechanics*, Nort-Holland, Amsterdam 1967.

Di solito lo sviluppo della scienza è visto come una sequenza di eventi di questo tipo: dapprima si osservano nuovi fenomeni, che vengono studiati con sistematicità; e dopo che è stata raccolta una quantità sufficiente di materiale sperimentale, i risultati suggeriscono i concetti grazie ai quali il materiale può essere interpretato. Alla fine, raccogliendo nuovi dati e affinando i concetti, può essere sviluppata una teoria che fornisca un'interpretazione soddisfacente dei fenomeni e una spiegazione di essi. Ma questa descrizione – per quanto plausibile possa sembrare – è vera soltanto a metà. In realtà, l'attenzione e l'intuito di coloro che cercano di interpretare i fenomeni svolgono un ruolo importantissimo nello sviluppo, e perciò lo sfondo filosofico da cui partono – consciamente o meno – ha un'influenza determinante sui risultati della loro attività. Nella storia della scienza, questo elemento è stato talvolta trascurato, ma è stato messo energicamente in rilievo da Pauli, e io vorrei occuparmi di questo particolare problema in relazione allo sviluppo attuale della fisica, in special modo della fisica delle particelle elementari. Di conseguenza, non sarò primariamente interessato alle relazioni generali fra filosofia e fisica, bensì al ruolo speciale che lo sfondo filosofico ha nel guidare la ricerca nella fisica contemporanea lungo i sentieri su cui essa ha realmente proceduto.

[...]

Aristotele, in quanto empirista, fu un critico dei Pitagorici che, come egli diceva, "non vanno cercando teorie e cause per spiegare i fatti osservati, bensì vanno forzando le loro osservazioni e vanno tentando di accomodarle a certe loro teorie e opinioni [...]". Questa critica indica la questione che mi accingo a discutere [...]. L'attenta e scrupolosa ricerca dei dettagli, la raccolta dei dati empirici, è sufficiente per mostrare il cammino a quei concetti che, infine, forniscono la base per comprendere i fenomeni? Oppure una certa idealizzazione dei fenomeni, con l'intenzione di adattare forme matematiche a essi, e la speranza di semplicità non potrebbero essere una condizione necessaria per trovare i concetti corretti? Personalmente non posso dubitare del fatto che la speranza di semplicità, la convinzione dell'esistenza di forme matematiche semplici che rappresentino la natura, abbia un ruolo decisivo nello sviluppo della scienza.

Il primo esempio in cui questo dilemma fra i due atteggiamenti

possibili nella ricerca si rivelò molto importante fu l'astronomia. L'astronomo e matematico greco Aristarco di Samo, nel III secolo a.C., sviluppò un sistema eliocentrico. Riteneva che il Sole fosse fermo al centro dell'Universo e che la sfera delle stelle fosse ferma e centrata intorno al Sole. La Terra, come gli altri pianeti, si muove intorno al Sole e ruota attorno al proprio asse. La Luna si muove attorno alla Terra. Le stelle sono così lontane dal sistema planetario che il moto della Terra intorno al Sole non può essere visto nei corrispondenti moti relativi (parallasse) delle stelle. In altri termini, Aristarco diede, quasi in ogni dettaglio, la spiegazione corretta dei moti visibili dei pianeti e delle stelle, come noi li conosciamo grazie all'opera di Copernico. [...]

Tuttavia, non convinse i suoi successori. Già Ipparco di Nicea, uno dei migliori osservatori dell'astronomia greca, ritornò alle idee più antiche. Queste furono in seguito sviluppate da Tolomeo, e la sua interpretazione dei moti planetari mediante cicli ed epicicli dominò l'astronomia occidentale fino al tempo di Copernico.

Come è potuto accadere, dobbiamo chiederci, che la teoria corretta venisse abbandonata e rimpiazzata da una teoria sbagliata, la quale venne poi assunta a fondamento dell'astronomia per circa 1800 anni? Di solito si risponde che gli argomenti fisici contro un moto della Terra erano formulati in modo troppo ingenuo; per esempio, ci si chiedeva: come potrebbe entrare in una rotazione così veloce un corpo molto pesante come la Terra? o perché questa rotazione non è direttamente avvertita? ecc. Certo, questo tipo di considerazioni è stato importante. Ma penso che alla base di quel mutamento vi furono altre ragioni, un po' più profonde. Era lo sfondo filosofico che era cambiato da Aristarco a Ipparco e Tolomeo. Aristarco era ancora legato alla tradizione dei Pitagorici e di Platone. Con le sue idee si proponeva (e per questo fu criticato da Aristotele) di partecipare all'organizzazione del mondo; voleva individuare il piano secondo cui era costruito l'Universo. Il sistema eliocentrico ne suggeriva uno semplice, ed è all'argomento della semplicità che egli attribuì maggior peso. In ogni caso Ipparco e Tolomeo volevano solo osservare e descrivere, ed erano interessati alle applicazioni pratiche dell'astronomia, per esempio, nella navigazione, nel calcolo delle eclissi ecc. Si osserva dalla Terra, e, quindi, è più conveniente assumere nella descrizione che la Terra è al centro e in quiete. Un altro punto importante è la flessibilità del sistema dei cicli e degli

epiclici. Da un lato, consente di sostenere il vecchio pregiudizio che i corpi celesti devono muoversi secondo orbite circolari; dall'altro, permette di rappresentare quasi ogni genere di moto, grazie all'introduzione di un numero qualsiasi di epicicli. [...]

All'inizio del XVI secolo Copernico riscoprì il sistema eliocentrico e la sua semplicità matematica. Ma il nuovo sfondo filosofico emerge con chiarezza ancor maggiore nelle riflessioni di Galileo sulla caduta libera dei corpi. Aristotele aveva affermato che i corpi leggeri cadono più lentamente di quelli pesanti, e questo era esatto da un punto di vista empirico. Galileo si chiese: come sarebbero caduti i corpi nello spazio vuoto, senza alcuna resistenza da parte dell'aria? Così, sostituì il moto reale dei corpi in caduta con un moto idealizzato, il moto nello spazio vuoto, e trovò che questo moto poteva essere rappresentato mediante forme matematiche semplici. In tal modo Galileo inaugurò due nuove strade nel campo della scienza. Da un lato, spettava all'abilità del fisico sperimentale preparare le condizioni ottimali per le osservazioni, isolare la parte rilevante dei fenomeni dalle influenze perturbanti; dall'altro, era compito del teorico trovare forme matematiche in grado di rappresentare i fenomeni idealizzati. [...]

La soluzione finale [...] fu trovata da Newton, che riuscì a collegare concetti fondamentali quali quelli di massa, velocità, accelerazione e forza, mediante un sistema di assiomi che fornì una struttura rigorosa per i possibili moti meccanici di un sistema: *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Per un'interpretazione del sistema planetario Newton dovette aggiungere il concetto di gravità; ma, con questa ipotesi molto semplice circa le forze fra due masse qualsiasi, il complicato sistema delle orbite osservate dei pianeti fu in perfetto accordo con la meccanica di Newton. Newton non spiegò completamente questo sistema. Le condizioni iniziali nella sua meccanica sono libere, perciò devono essere lasciate alla storia passata del sistema. Questa situazione si è verificata di nuovo in tutte le pari più recenti della fisica: le leggi naturali forniscono una struttura per i fenomeni possibili, ma esse non li determinano completamente. Si devono aggiungere le condizioni iniziali o le condizioni al contorno o egualmente entrambe allo scopo di ottenere risposte uniche. [...]

Il XIX secolo trovò la via per una comprensione reale dei fenomeni del calore e dell'elettricità. I nuovi concetti erano diversi da

quelli che formavano le basi della meccanica newtoniana e quindi ci volle qualche tempo prima che essi venissero accettati dalla maggioranza dei fisici. Il clima filosofico non fu più a lungo molto favorevole allo studio delle idee fondamentali soggiacenti ai fenomeni naturali: ma alla fine la componente del platonismo fu abbastanza forte. Nella teoria del calore in primo luogo poté essere sviluppata una descrizione fenomenologica che conteneva i concetti di temperatura ed entropia e sembrava rappresentare le osservazioni con ogni precisione richiesta. Era sufficiente per tutte le applicazioni tecniche. Ma la nuova situazione fu compresa davvero soltanto quando, nell'opera di Gibbs, il concetto statistico della distribuzione canonica venne assunto come fondamento per l'interpretazione della temperatura e dell'entropia. Per la prima volta i fisici furono messi a confronto con le difficoltà di ciò che si era soliti chiamare una descrizione oggettiva della natura. La temperatura sembrava essere una proprietà oggettiva della materia. Ma nell'analisi teorica era collegata alla nostra conoscenza incompleta del sistema interessato. Si poteva parlare della temperatura soltanto quando il sistema non era isolato dal resto del mondo, quando esso era in equilibrio termodinamico con lo strumento di misura dell'osservatore; e l'equilibrio termodinamico significava la distribuzione canonica dell'energia fra i molti gradi di libertà nel sistema e lo strumento, esso significava lo scambio di energia fra sistema e strumento. Per la prima volta i fisici appresero che un concetto che sembra assolutamente non problematico come la temperatura ha soltanto una sfera limitata di applicabilità. Le parole che noi impieghiamo con successo nel descrivere la nostra esperienza quotidiana non sono necessariamente adeguate a descrivere fenomeni più remoti. La nuova interpretazione fornita da Gibbs non fu accettata con facilità; un atteggiamento puramente pragmatico tende a preservare le vecchie strutture concettuali e a evitare nuove linee di pensiero. Un grandissimo numero di studi sull'interpretazione statistica della termodinamica dimostra questa difficoltà.

In merito ai fenomeni elettromagnetici si vide facilmente che i vecchi concetti newtoniani non potevano bastare. [...] Fu Faraday che attirò l'attenzione dei fisici dai corpi interagenti ai campi di forze attivi fra di essi. [...]

Ma che cosa era il campo? Da un punto di vista pratico questa domanda non era importante. Si sapeva come costruire elettromo-

tori o telefoni o radiotrasmittitori; perché ci si sarebbe dovuti preoccupare della natura del campo? Lo sfondo concettuale era ancora stabilito dalla meccanica di Newton. Si conoscevano le onde elastiche nei corpi solidi, le onde sonore nell'aria, le onde sulla superficie dell'acqua. Perciò fu naturale paragonare le onde elettromagnetiche alle onde elastiche in qualche mezzo adatto. Questo mezzo dovette essere inventato *ad hoc*; fu chiamato etere, ma non poté mai essere osservato. Nondimeno molti fisici preferirono postulare un tale mezzo piuttosto che accettare il concetto interamente nuovo di un campo come realtà fisica indipendente. [...]

Il mutamento finale fu causato dalla teoria della relatività. La teoria fenomenologica dell'elettrodinamica dei corpi in movimento era diventata alquanto complicata. Il moto della terra relativo all'etere non poteva essere osservato. Lorentz aveva trovato che le equazioni di Maxwell erano invarianti rispetto a un gruppo piuttosto semplice; ma la meccanica di Newton non era invariante rispetto a queste trasformazioni di Lorentz. Allora Einstein scoprì l'enorme semplicità che risultava quando le variabili nelle trasformazioni di Lorentz venivano identificate con le coordinate reali di spazio e di tempo, e quando, di conseguenza, si assumeva che tutte le leggi naturali sono invarianti rispetto a queste trasformazioni. Si era di nuovo rivelato che dietro l'infinita varietà dei fenomeni c'era un principio formale unificante; in questo caso un semplice gruppo matematico, proprio come nei tempi antichi avevano sperato Pitagora e Platone. Ma, ancora una volta, fu molto difficile accettare questa nuova situazione. [...] Come il sistema eliocentrico di Aristarco e Copernico, la teoria della relatività speciale collegava molti fenomeni complicati in un modo sorprendentemente semplice. Molti fisici poterono cooperare nel mettere alla prova le predizioni e analizzare le varie osservazioni sulla base delle nuove idee: il successo confermò la loro validità.

Ma il mutamento più drastico nello sfondo concettuale venne prodotto dalla teoria dei quanti, e vorrei ora [...] discutere questo problema più attentamente. Consentitemi di ripercorrere molto brevemente la storia. Planck aveva trovato che l'interpretazione accettata dei fenomeni del calore e dell'elettromagnetismo non poteva spiegare la legge osservata del calore radiante. Egli diede un'interpretazione fenomenologica di questa legge che era incompatibile con la conoscenza fisica esistente; essa indicava

una caratteristica della natura totalmente nuova. Einstein rintracciò questa caratteristica in altri fenomeni come l'effetto fotoelettrico e il calore specifico dei corpi solidi. Poi Niels Bohr scoprì la possibilità che questa caratteristica appartenesse in un modo essenziale al piano secondo cui fu costruita un'enorme quantità di fenomeni: la chimica, gli spettri ottici degli atomi, il sistema periodico degli elementi, la struttura della materia. Attraverso lo sforzo unitario di molti fisici, cinquant'anni fa venne costruita la meccanica dei quanti o ondulatoria, che dovrebbe prendere il posto della meccanica newtoniana e che in realtà collegava davvero tutti questi fenomeni in uno schema matematico relativamente semplice.

Quale era lo sfondo filosofico su cui ebbe luogo questo sviluppo? Nella letteratura è stato frequentemente assertedo che il positivismo giocò un ruolo essenziale nell'invenzione della relatività e della meccanica quantistica. In realtà, all'inizio del secolo Mach aveva messo in rilievo quanto fosse importante mantenere una relazione immediata fra i fenomeni osservati e i concetti teorici. Queste idee hanno certamente reso più facile a Einstein abbandonare il tempo assoluto della fisica precedente, ed esse hanno aiutato ad abbandonare le orbite elettroniche nell'atomo in meccanica quantistica. Così non si può mettere in dubbio il valore euristico del positivismo di Mach. D'altro lato questa filosofia non fu generalmente accettata, essa non costituì lo sfondo filosofico comune; e soltanto pochissimi avevano compreso quale prezzo deve essere pagato, se essa viene assunta realmente come base della fisica. Persino Mach non doveva avere considerato la possibilità che la descrizione oggettiva dei fenomeni potesse diventare problematica nel modo in cui lo è diventata nella meccanica quantistica.

Ma si potrebbe forse argomentare che una mescolanza qualunque di empirismo e positivismo formava in quel periodo lo sfondo filosofico generale. Lo sviluppo della scienza era comunemente visto come una sequenza, dove dapprima viene raccolta una quantità sufficiente di materiale sperimentale, poi vengono adattate a esso forme matematiche e infine emergono i nuovi concetti corretti che forniscono la comprensione completa dei fenomeni. Vorrei sottolineare che questa descrizione non è certamente sufficiente e che né lo sviluppo della relatività né quello della teoria dei quanti seguì questo schema.

[... In entrambi i casi] si deve aggiungere la convinzione che dietro l'infinita varietà dei fenomeni c'è un principio formale semplice e unificante. I fisici che sono alle prese con tali problemi fondamentali devono dare per scontato che esista un tale semplice principio unificante. Essi devono sapere che il principio non può essere inventato, ma può soltanto essere scoperto. Nel caso della relatività il passo decisivo fu compiuto quando Einstein si rese conto di quanto divenissero semplici le relazioni fra i vari fenomeni nell'elettrodinamica una volta che le variabili delle trasformazioni di Lorentz venivano identificate con le coordinate reali dello spaziotempo. Nella teoria dei quanti questo elemento decisivo di semplicità emerse diverse volte: dapprima quando Bohr scoprì che il concetto di stato stazionario collegava la legge di Planck della radiazione calorica e il modello di Rutherford con la spettroscopia e con la chimica; poi quando comparve uno schema matematico molto flessibile che conteneva sia l'aspetto corpuscolare che quello ondulatorio dei fenomeni; e infine quando una semplice limitazione dei concetti classici fu sufficiente a fornire un'interpretazione fisica coerente a questo schema matematico.

È molto difficile definire questa "semplicità"; ma il suo significato sembra essere evidente per la grande maggioranza dei fisici quando la struttura corrispondente della natura è stata davvero compresa. Riprendendo il discorso sullo sfondo filosofico su cui questo sviluppo ha avuto luogo, si dovrebbe forse dire che fu la componente platonica ancora esistente nello sfondo che rese possibile la teoria della relatività e la teoria dei quanti. Nonostante l'empirismo, il materialismo e il positivismo, una certa tendenza platonica o pitagorica si era conservata sin dal tempo di Galileo e Newton, e questa tendenza, alla fine, guidò alla comprensione.

Si potrebbe immaginare che il successo della relatività e della teoria dei quanti rafforzerebbe, in una specie di reazione, l'elemento platonico nello sfondo filosofico. Ma sfortunatamente questo effetto sembra essere scarso. Dobbiamo ricordare che lo sfondo filosofico è, almeno in parte, un fenomeno sociale. La relatività e la teoria dei quanti hanno a che fare con un genere di esperienza che è piuttosto lontana dalla vita quotidiana, la sua comprensione richiede un alto grado di astrazione, e quindi il numero di scienziati che davvero comprende questi campi può soltanto essere piccolo. Di conseguenza, il nuovo concetto di realtà che è risulta-

to dall'interpretazione di Copenhagen della teoria dei quanti è stato accettato soltanto da alcuni. Ci sono stati grandi tentativi di rimpiazzarlo mediante un'interpretazione più positivista o materialistica, e fuori dalla fisica la convenzionale mescolanza di materialismo, positivismo ed empirismo perdura. Alcuni mesi fa ricevetti una lettera da Pasadena dal biologo Delbrück, che in gioventù aveva partecipato allo sviluppo della teoria dei quanti; egli si rammaricava profondamente che non gli era stato possibile diffondere questo nuovo concetto teorico quantistico della realtà fra i biologi. Questo è in special modo deludente dal momento che, in biologia molecolare, Watson e Crick avevano scoperto, nel 1953, la doppia elica dell'acido nucleico e cioè un principio unificante di un enorme potere, che certamente mette in evidenza l'elemento platonico nella moderna filosofia naturale. Ma tali successi hanno solo piccolo peso in un mondo scientifico dove dettano gli innumerevoli richiedono indagine accurata e occupano le menti di quelli che fanno la ricerca.

In fisica atomica, durante gli ultimi venticinque anni l'interesse è stato concentrato sulle cosiddette particelle elementari. È stato raccolto un abbondante materiale sperimentale, sono state trovate regolarità e forme matematiche sono state adattate alle osservazioni, ma non è ancora stata raggiunta una comprensione completa. Un passo decisivo nella giusta direzione è stato fatto quasi cinquant'anni fa, quando Dirac predisse l'esistenza dei positroni e poco dopo il concetto di antimateria fu verificato sperimentalmente. Questa scoperta produsse nell'interpretazione filosofica della fisica atomica un mutamento fondamentale, che richiede attenzione considerazione e che dovrà essere discusso tra breve.

Nei primi esperimenti nonché nel formalismo matematico della meccanica quantistica il numero di elettroni o protoni in un dato sistema non poteva essere cambiato. Queste particelle sembravano essere immutabili unità di materia, i mattoncini fondamentali di cui tutta la materia è costruita; cioè essi potevano essere paragonati agli atomi dell'antica filosofia materialistica di Democrito. Queste particelle sembravano essere quegli oggetti elementari che "esistono davvero" e di cui sono composti tutti gli altri oggetti esistenti.

Una tale interpretazione, tuttavia, non poteva essere vera dopo la scoperta di Dirac. Le particelle possono essere create e annichilate, possono essere trasformate in altre, e la distinzione fra parti-

celle elementari e sistemi composti è andata perduta. È importante rendersi conto che in tal modo è stato distrutto l'intero fondamento del materialismo atomistico nel senso della filosofia democritea. Già il concetto di "dividere" perde il suo significato, quando dovrà essere diviso un piccolissimo pezzo di materia. Poiché il processo del dividere richiede energia, e quando l'energia è sufficientemente alta, il risultato del processo può essere interpretato come la creazione di nuove particelle dall'energia, piuttosto che come una divisione del pezzo di materia originale. La trasformazione dell'energia in materia e viceversa è un processo fondamentale e una delle più importanti conseguenze della teoria della relatività speciale. Una comprensione del mondo delle particelle elementari è possibile soltanto se questa caratteristica della natura è pienamente compresa nella spiegazione.

Ma, se hanno perduto il loro significato fondamentale di più piccole unità di materia, che cosa sono le particelle? Gli esperimenti degli ultimi decenni dimostrano con ogni grado di chiarezza richiesto che le particelle dovrebbero essere paragonate agli stati stazionari della prima meccanica quantistica. Esse sono in realtà stati stazionari; possono essere caratterizzate da numeri quantici e ciò significa che esse sono rappresentazioni di gruppi fondamentali. I gruppi di una teoria relativistica sono diversi da quelli di una meccanica quantistica non relativistica. Concerne i problemi più importanti della teoria delle particelle definire i gruppi fondamentali, vale a dire le proprietà di invarianza della legge naturale soggiacenti, in quanto distinta dalle simmetrie approssimate causate dalla dinamica del sistema. Per trovare la via di una reale comprensione dello spettro delle particelle sarà dunque necessario cercare le simmetrie fondamentali e non le particelle fondamentali.

Mentre questo sviluppo va avanti nei nostri tempi può di nuovo essere utile interrogarsi sullo sfondo filosofico; indagare se questo sfondo favorisce od ostacola il progresso nella fisica delle particelle. Sfortunatamente, per il tempo presente, temo che le componenti negative siano più forti di quelle positive. In primo luogo c'è la speranza dell'empirista che, raccogliendo sempre più dati, i concetti corretti per la comprensione verranno fuori da sé. Come abbiamo visto nel caso della relatività e della teoria dei quanti, questa speranza fu un'illusione allora e probabilmente sarà un'illusione nella fisica delle particelle. Ho accennato a proposito dell'astrono-

mia greca che questo atteggiamento empirista favorisce il perpetuarsi di vecchi pregiudizi; esso favorisce l'interpretazione dei dati accumulati con l'aiuto di vecchi concetti. Un notevole esempio di questa tendenza nella fisica delle alte energie è la ricerca delle particelle dette quark. In questo caso, il vecchio pregiudizio è il materialismo atomistico di Democrito, la tesi: "Devono esserci le più piccole particelle di materia", e la vecchia domanda: "Di che cosa è fatto questo oggetto?". Le particelle ipotetiche quark non sono mai state realmente osservate, e al momento presente molti fisici preferiscono l'ipotesi che i quark non esistano come oggetti reali, essi sono pensati come oggetti matematici virtuali all'interno delle particelle, che non vengono mai fuori. Ma questa raffigurazione è utile per comprendere? [...]

Prendendo in considerazione insieme tutti questi argomenti, temo che nella fisica delle particelle lo sfondo filosofico prevalente avanzi con difficoltà. La situazione attuale ci ricorda la situazione dell'astronomia greca successiva ad Aristarco, quando la componente platonica o pitagorica dello sfondo filosofico divenne così debole che il sistema eliocentrico fu semplicemente dimenticato. D'altro lato, il successo della teoria dei quanti nello spiegare gli spettri ottici degli atomi o la struttura delle molecole in chimica opera nella direzione opposta. Lo spettro delle particelle elementari è complicato: ma non è più complicato degli spettri ottici degli atomi più pesanti o dello spettro delle molecole in chimica. Quindi possiamo essere fiduciosi che esista un principio unificante dietro i fenomeni come in questi altri casi. Sarebbe quasi un caso di cecità nella ricerca se non vedessimo questa analogia. Perciò possiamo sperare che questo campo speciale della fisica delle particelle raggiungerà, come la meccanica quantistica, la sua forma finale possibilmente prima che la scena filosofica sia completamente mutata.

Bertrand Russell

Principio di induzione e conoscenza probabile

“Tre grandi passioni hanno governato la mia vita: la sete d'amore, la ricerca della conoscenza e una struggente pietà per le sofferenze dell'umanità.” Così Bertrand Arthur William Russell (1872-1970), il grande logico e filosofo britannico, autore, insieme ad Alfred North Whitehead (1861-1947), dei monumentali *Principia mathematica* (1910-1913). Formatosi negli anni Novanta dell'Ottocento a Cambridge e affascinato da tendenze kantiane e idealistiche (un'eco delle quali si ritrova in *An Essay on the Foundations of Geometry*, che sarà polemicamente recensito da Henri Poincaré, vedi p. 101), Russell, stimolato anche dal confronto con l'amico e compagno George Edward Moore (1873-1958), matura una progressiva “emancipazione” dalla prospettiva idealistica verso un approccio di stampo realistico, cui si affianca l'interesse sempre crescente per la riflessione logico-matematica, culminato nell'incontro con Giuseppe Peano (1858-1932) al Congresso internazionale di filosofia del 1900. In *A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz* (1900) Russell accusa la metafisica idealistica – fondata su una logica di ascendenza aristotelica che attribuisce rilievo pressoché esclusivo al nesso soggetto-predicato, trascurando (al pari di Kant) il ruolo della relazione – di condurre a un'assurda negazione della pluralità degli enti. E nei *Principles of Mathematics* (1903) delinea una concezione realistica degli enti matematici, cercando al contempo di uscire dalle difficoltà che egli stesso aveva creato al programma logicista inaugurato da Gottlob Frege (1848-1925). Proprio la scoperta della celebre antinomia – “sia *w* il predicato: essere predicato di se stesso. Si può predicare *w* di se stesso? Da ogni risposta segue l'opposto. Bisogna dunque concludere che *w* non è un predicato. Allo stesso modo non esiste una classe (come totalità) di quelle classi che come totalità non appartengono a se stesse. Ne concludo che in determinate circostanze un insieme definibile non forma una totalità” –, comunicata a Frege in una lettera del 16 giugno 1902 e da questi giudicata tale da mettere in crisi “l'unico fondamento possibile dell'aritmetica” (in quanto mostrava che in certi casi limite il cosiddetto “principio di comprensione”, ossia l'idea che ogni proprietà determini un

insieme di oggetti costituito da tutti e soli gli oggetti che godono di quella proprietà" portava a contraddizione), lo aveva spinto a introdurre nell'appendice dei *Principles* una "teoria dei tipi" basata sul principio che una classe dovesse essere di tipo logico più elevato rispetto ai suoi elementi. Tuttavia, neppure questo primo abbozzo di soluzione soddisfa Russell: il lavoro di revisione del programma logicista, volto a mostrare come fosse possibile "derivare effettivamente da pochissimi assiomi e concetti logici, ampie parti della matematica", doveva infatti portare una decina d'anni dopo alla pubblicazione dei già ricordati *Principia mathematica*.

Nello stesso periodo in cui si occupa dello "scandalo della deduzione" (logica e matematica), Russell non disdegna di cimentarsi su questioni di carattere più generalmente epistemologico, esponendo in un volume del 1912, *The Problems of Philosophy*, le "linee generali" della propria filosofia. E nelle pagine qui riportate egli affronta il problema dell'induzione (giustificazione della conoscenza empirica), non nascondendosi le difficoltà della concezione di Mill. Per ricorrere al suo celebre esempio, "l'uomo da cui il pollo ha ricevuto il cibo per ogni giorno della propria vita gli titerà alla fine il collo, dimostrando che un'idea meno primitiva dell'uniformità della natura sarebbe stata utile all'animale". Russell finisce così per ridefinire i processi induitivi non come fissazioni di certezze, ma come assegnazioni di probabilità: "possiamo al massimo sperare che quanto più spesso le cose si presentano assieme, tanto più probabile diventa che si presenteranno assieme un'altra volta, e che, quando si siano presentate assieme abbastanza spesso, la probabilità si avvicinerà al grado di certezza, senza però giungervi mai, perché sappiamo che, nonostante le frequenti ripetizioni, alla fine può accadere [...] un fatto del tutto diverso" – il caso del pollo insegni. È comunque significativo della difficoltà del problema che Russell, nella prima formulazione del principio di induzione, incorra in errore. Supponiamo che a p. 197 *A* stia per corvo e *B* per nero. Applicando il principio dovremmo concludere che è altamente probabile che *A* e *B* si presenteranno assieme in un nuovo caso in cui si sa che è presente una delle due. Di conseguenza, se sappiamo che un oggetto è nero dovremmo inferire che si tratta verosimilmente di un corvo, il che è evidentemente scorretto. Tuttavia, basta riformulare il punto (a) di p. 197 specificando che "tanto maggiore è la probabilità che si presenteranno assieme nel caso in cui si sa che *A* è presente", per non avere quell'inconveniente. Come ha osservato D. Gillies (1995), l'errore commesso da Russell dà un'idea della notevole difficoltà insita in ogni tentativo di formulare il principio di induzione in modo soddisfacente. Positivisti logici come Hans Reichenbach (1891-1953) sosterranno comunque che abbandonarlo significherebbe privare la scienza del "diritto di distinguere le sue teorie dalle creazioni fantastiche e arbitrarie della mente del poeta". Karl Popper sarà di diverso avviso.

Mentre le indagini sull'induzione e sulla probabilità furono riprese da una serie di giovani filosofi della scienza come John Maynard Keynes (1883-

1946), prima che si dedicasse all'economia, Harold Jeffreys (1891-1989) e Frank Ramsey (1903-1930) – il loro approccio "bayesiano" vanta tutt'oggi un grande numero di sostenitori, ma la trattazione di un simile argomento esula dal presente volume –, Russell approfondì ulteriormente le sue intuizioni. Dallo scoppio della prima guerra mondiale il suo interesse si spostò sul piano politico (nel 1916 viene allontanato dalla cattedra di cui era titolare al Trinity College di Cambridge e condannato a sei mesi di carcere per la sua adesione alla causa pacifista; conoscerà ancora il carcere nel 1961, alla tenerezza di ottantatré anni, per aver preso parte alla campagna a favore del disarmo nucleare) e la sua attività filosofica si dispiega perlopiù attraverso una serie di opere, *Our Knowledge of External World* (1914) o *The Analysis of Matter* (1921), nelle quali, smessi i panni dell'accademico, abbozza in termini generali le linee guida lungo cui dovrebbe procedere la futura ricerca filosofica.

Tra queste giova qui ricordare la serie di conferenze ("The Philosophical Logical Atomism") tenute nel 1918 e pubblicate successivamente su *The Monist*, oltre all'importante testo del 1924, *Logical Atomism*. Riprendendo in gran parte idee dell'"amico ed ex allievo Ludwig Wittgenstein", Russell considera "linguaggio logicamente perfetto" quello in cui "le parole di una proposizione corrisponderebbero una a una alle componenti del fatto" cui essa si riferisce, "con l'eccezione di parole come 'o', 'non', 'se', 'allora', che hanno una funzione differente". In altri termini, "un linguaggio del genere [...] mostrerà a prima vista la struttura logica del fatto assertito e negato". Lo stesso linguaggio naturale dovrebbe in qualche modo essere interpretabile all'interno di quello logico. E proprio l'analisi di quest'ultimo consente di chiarire la struttura del reale e di risalire ai costituenti ultimi, agli "atomi" (alcuni dei quali saranno i cosiddetti "particolari", ossia "cose quali piccole macchie di colore, o suoni, cose momentanee", mentre altri saranno "qualità, relazioni ecc."), che per Russell sono identificabili con i dati "elementari" dell'esperienza, ciò di cui abbiamo conoscenza diretta e su cui fondiamo la nostra conoscenza del mondo. Avremo modo di vedere come un simile "empirismo logico" sarà al centro di ampie discussioni, sovente critiche, tra gli esponenti del Circolo di Vienna.

In conclusione, vogliamo ricordare alcuni dei numerosissimi interventi di etica, politica e polemica religiosa che hanno contribuito a fare di Bertrand Russell, come è stato autorevolmente detto, il filosofo di maggior pubblico dai tempi di Voltaire: *The Practice and Theory of Bolshevism* (1920), *Why I am not a Christian* (1927), *Power. A New Social Analysis* (1938). Non è un caso che fu insignito del premio Nobel per la letteratura (1950) per *Marriage and Morals*, del 1927, testo che a suo tempo aveva scandalizzato i bigotti dall'una e dall'altra parte dell'Oceano Atlantico.

Le pagine che seguono sono tratte da B. Russell, *The Problems of Philosophy*, William and Norgate, London 1957; tr. it. di E. Spagnol, *I problemi della filosofia*, Feltrinelli, Milano 1980, pp. 71-82.

Di Russell si vedano anche: *La filosofia di Leibniz* (1900), tr. it. Longanesi, Milano 1971; *I principi della matematica* (1903), tr. it. Longanesi, Milano 1951; *La conoscenza del mondo esterno* (1914), tr. it. Longanesi, Milano 1966; *Logica e conoscenza. Saggi 1901-1950*, tr. it. Longanesi, Milano 1961; *L'analisi della mente* (1921), tr. it. Newton Compton, Milano 1969; *Perché non sono cristiano* (1927), tr. it. Longanesi, Milano 1959; *Matrimonio e morale* (1927), tr. it. Rizzoli, Milano 1980; *Il potere. Una nuova analisi sociale* (1938), tr. it. Feltrinelli, Milano 1967; B. Russell e A.N. Whitehead, *Introduzione ai principi matematici*, tr. it. (parziale) a cura di P. Parrini, La Nuova Italia, Firenze 1977.

Per approfondire: W.P. Alston, P. Edwards e A.N. Prior, "Russell Bertrand Arthur William", in *The Encyclopedia of Philosophy*, a cura di P. Edwards, MacMillan Company and Free Press, New York-London 1967, vol. 7, pp. 235-258; A.J. Ayer, *Russell and Moore: the Analytical Heritage*, MacMillan, London 1971; M. Di Francesco, *Introduzione a Russell*, Laterza, Roma-Bari 2001; D. Gillies e G. Giorello, *La filosofia della scienza nel XX secolo*, Laterza, Roma-Bari 1995, pp. 5-15; E. Rivero, *Il pensiero di Bertrand Russell*, Libreria Scientifica Editrice, Napoli 1958; G.W. Roberts (a cura di), *Bertrand Russell's Memorial Volume*, Allen and Unwin, London 1979; C.W. Savage e C.A. Anderson, *Essay on Bertrand Russell's Metaphysics and Epistemology*, University of Minnesota Press, Minneapolis 1988; P.A. Schilpp (a cura di), *The Philosophy of Bertrand Russell*, Open Court, La Salle (Ill.) 1971⁴; R. Simili (a cura di), *L'epistemologia di Cambridge*, il Mulino, Bologna 1987; J. Vuillemin, *La logique et le monde sensible*, Flammarion, Paris 1971.



Che cosa c'è nell'Universo, la cui esistenza ci sia nota grazie al fatto che ne abbiamo conoscenza diretta? Fin qui, abbiamo risposto che abbiamo conoscenza diretta dei dati dei nostri sensi e, probabilmente, di noi stessi. Queste cose, sappiamo che esistono. E sappiamo che sono esistiti nel passato i dati sensibili passati, che ricordiamo: questa conoscenza tiene luogo dei nostri dati.

Ma se dobbiamo poter trarre deduzioni da questi dati, se dobbiamo saper qualcosa dell'esistenza della materia, dell'esistenza degli altri, dell'esistenza del passato prima che cominci la nostra memoria individuale, o del futuro, dobbiamo conoscere principi generali di un qualche tipo, per mezzo dei quali possiamo trarre tali deduzioni. Dobbiamo sapere che l'esistenza di una cosa, *A*, è segno dell'esistenza di qualche altra cosa, *B*, contemporanea ad *A* o anteriore o posteriore, come per esempio il tuono è segno della

precedente esistenza del fulmine. Se non sapessimo questo, non potremmo mai estendere la nostra conoscenza oltre la sfera dell'esperienza personale; che, come abbiamo visto, è paurosamente limitata. Il problema che dobbiamo esaminare ora è se questo allargamento sia possibile; e se sì, come avvenga.

Prendiamo come esempio un argomento sul quale nessuno di noi nutre in realtà il minimo dubbio. Tutti siamo convinti che il Sole si leverà domattina. Perché? Questa convinzione è soltanto la conseguenza cieca dell'esperienza passata, o si può giustificare come una convinzione ragionevole? Non è facile trovare una prova che ci permetta di giudicare se una convinzione di questo genere sia ragionevole o meno, ma possiamo se non altro stabilire quali convinzioni generali basterebbero, se fossero vere, a giustificare il giudizio che il Sole si leverà domani, e molti altri giudizi simili, sui quali si basa la nostra condotta.

È ovvio che se ci domandassero perché crediamo che il Sole si leverà domani, noi risponderemmo con tutta naturalezza: "Perché da sempre si leva ogni giorno". Abbiamo la ferma convinzione che si leverà in futuro perché si è levato in passato. Se ci chiederanno di spiegare perché crediamo che continuerà a levarsi come ha fatto sin qui, ci potremo richiamare alle leggi del moto: la Terra, diremo, è un corpo che ruota liberamente su se stesso, e questi corpi continuano a ruotare a meno che intervenga qualche ostacolo esterno, e non vi è nulla che possa intervenire a ostacolare il moto della Terra fra ora e domani. Naturalmente si potrebbe chiedere se siamo proprio sicuri che nulla possa intervenire dall'esterno, ma non è questo il dubbio che ci interessa. La vera domanda da porre è se le leggi del moto rimarranno valide sino a domani. Quando sia sollevato questo dubbio, ci troveremo nella stessa posizione in cui eravamo quando fu sollevato per la prima volta il dubbio circa il levare del Sole.

La *sola* ragione per credere che le leggi del moto rimarranno valide sino a domani è che esse hanno operato sino a ora, a quanto ci permette di giudicare la nostra conoscenza del passato. È vero che il passato ci dà una maggior numero di prove in favore delle leggi del moto che in favore del levar del Sole, perché il levar del Sole è solo un caso particolare di adempimento delle leggi del moto, e vi sono innumerevoli altri casi particolari. Ma la vera domanda è: *Un qualsiasi* numero di casi di adempimento di una legge nel passato

ci dà la prova che quella legge sarà adempiuta nel futuro? Se la risposta è negativa, è chiaro che non abbiamo nessun motivo di attenderci che il Sole si levi domani, o di aspettarci che il pane che mangeremo nel nostro prossimo pasto non ci avveleni, o di nutrire qualsiasi altra delle inconse convinzioni che regolano la nostra condotta quotidiana. Bisogna dire che tutto ciò che attendiamo è solo *probabile* che si verifichi; sicché non dobbiamo cercare una prova che la nostra attesa *deve* essere esaudita, ma solo qualche motivo in favore dell'opinione che è *probabile* che sia esaudita.

Nel trattare questo problema dobbiamo, per cominciare, fare un'importante distinzione, senza la quale saremmo presto involuppati in confusioni inestricabili. L'esperienza ci ha mostrato fin qui che il frequente presentarsi di certe successioni uniformi o di casi di coesistenza è stato *cassa* della nostra attesa che la stessa successione o coesistenza si verifichi alla prossima occasione. Un cibo con una data apparenza di solito ha quel certo sapore, e siamo sgradevolmente delusi quando scopriamo che l'apparenza familiare si accompagna a un sapore insolito. Le cose che vediamo vengono associate, per abitudine, a certe sensazioni tattili che ci aspettiamo di provare toccandole; una delle qualità più paurose dei fantasmi (in molte storie di spiriti) è il loro non potere essere toccati. Persone prive di cultura che si recano all'estero per la prima volta sono sorprese fino all'incredulità nel vedere che la gente non capisce la loro lingua.

Questo tipo di associazione non è limitato agli uomini: è molto forte anche tra gli animali. Un cavallo che sia stato condotto spesso lungo una certa strada oppone resistenza al tentativo di condurlo in direzione diversa. Gli animali domestici si aspettano di ricevere il cibo quando vedono la persona che di solito gliene porge. Sappiamo che questa fiducia piuttosto sprovveduta nell'uniformità può indurre in errore. L'uomo da cui il pollo ha ricevuto il cibo per ogni giorno della propria vita gli tirerà alla fine il collo, dimostrando che un'idea meno primitiva dell'uniformità della natura sarebbe stata utile all'animale.

Ma per quanto ingannevoli siano queste attese, esse tuttavia esistono. Basta il fatto che qualcosa sia avvenuto un certo numero di volte perché uomini e animali si attendano che debba accadere di nuovo. Così i nostri istinti ci danno a credere che il Sole si leverà domani, ma noi potremmo essere in una situazione simile a quella del pollo a cui hanno inaspettatamente tirato il collo. Dob-

biamo dunque distinguere il fatto che le uniformità verificatesi nel passato *determinano* l'attesa del futuro, dalla questione se vi sia qualche ragionevole motivo di dar peso a queste attese, dopo che sia stato posto il problema della loro validità.

Il problema che dobbiamo discutere è se vi sia qualche ragione di credere in ciò che viene chiamato l'"uniformità della natura". Credere nell'uniformità della natura significa credere che tutto ciò che è accaduto o accadrà sia un esempio di qualche legge generale alla quale *non vi sono* eccezioni. Una fiducia cieca e piuttosto stupida come quelle che abbiamo esaminato fin qui è sempre soggetta a eccezioni e delusioni. Ma la scienza di solito presume, se non altro come ipotesi di lavoro, che le regole generali a cui si danno eccezioni possano essere sostituite da regole generali senza eccezioni. "I corpi liberi nell'aria cadono" è una regola generale di cui i palloni e gli aeroplani costituiscono le eccezioni. Ma le leggi del moto e la legge di gravità, che spiegano perché la maggior parte dei corpi cada, spiegano anche perché palloni e aeroplani si sollevino; sicché essi non rappresentano più eccezioni alle leggi del moto e alla legge di gravità.

La convinzione che il Sole si leverà domani potrebbe diventare errata se la Terra venisse improvvisamente in contatto con un grosso corpo che ne arrestasse la rotazione; ma le leggi del moto e la legge di gravità non sarebbero perciò infrante. Il compito della scienza è di scoprire leggi di uniformità, come le leggi del moto e la legge di gravità, alle quali, fin dove giunge la nostra esperienza, non vi siano eccezioni. In questa ricerca la scienza ha avuto un notevole successo, e bisogna riconoscere che sino a oggi queste leggi di uniformità non sono state contraddette. Così, eccoci tornati al problema: dato che non sono mai state contraddette in passato, abbiamo motivo di supporre che non lo saranno in futuro?

È stato detto che possiamo sapere che il futuro somiglierà al passato perché ciò che fu futuro è sempre diventato il passato, e semprè è stato trovato somigliante al passato, di modo che noi abbiamo realmente esperienza del futuro, cioè di tempi che furono una volta futuri, e che possiamo chiamare futuri passati. Ma un tale argomento è in realtà una petizione di principio. Abbiamo esperienza di futuri passati, ma non di futuri futuri, e la domanda è: i futuri futuri somiglieranno ai futuri passati? Non è domanda cui si possa rispondere con un argomento che prende lo spunto solo dai futuri passati.

Dobbiamo dunque cercare ancora qualche principio che ci metta in grado di sapere se il futuro seguirà le stesse leggi del passato.

Il riferimento al futuro non è del resto necessario. Lo stesso problema si pone quando applichiamo le leggi che la nostra esperienza ha provato valide a cose passate di cui non abbiamo esperienza; come accade, per esempio, nella geologia o per le teorie sull'origine del Sistema solare. La domanda che in realtà dobbiamo porre è: "Quando vediamo che due cose si presentano spesso insieme, e non si conosce nessun esempio del ricorrere dell'una senza l'altra, il ricorrere di una delle due, in un caso nuovo, dà motivo di credere che si presenterà anche l'altra?". Dalla nostra risposta a questa domanda dipende la validità di ogni nostra attesa futura, di tutti i risultati ottenuti per induzione, e in pratica di tutte le credenze su cui si basa la nostra vita quotidiana.

Bisogna ammettere, anzitutto, che il fatto che due cose si siano presentate spesso insieme e mai separatamente non basta, da solo, a *dimostrare* che due cose si presenteranno di nuovo insieme nel prossimo caso che esamineremo. Possiamo al massimo sperare che quanto più spesso le cose si presentano assieme, tanto più probabile diventa che si presenteranno assieme un'altra volta, e che, quando si siano presentate assieme abbastanza spesso, la probabilità *si avvicinerà* al grado di certezza, senza però giungervi mai, perché sappiamo che nonostante le frequenti ripetizioni alla fine può talvolta accadere un fatto del tutto diverso, come nel caso del pollo cui hanno tirato il collo. Cosicché la probabilità è tutto ciò che dobbiamo cercare.

A quest'opinione si potrebbe obiettare che sappiamo come tutti i fenomeni naturali siano soggetti all'impero della legge, e che spesso è possibile stabilire, in base all'osservazione, che solo una legge può adattarsi a spiegare certi fatti. Ci sono due risposte a quest'obiezione. La prima è che una legge a cui non si dessero eccezioni potrebbe si fare al caso nostro, ma in pratica non possiamo mai essere sicuri di avere scoperto quella legge e non una a cui si danno eccezioni. La seconda è che l'impero stesso della legge sembra soltanto probabile, e anche la nostra convinzione che la legge regnerà in futuro, o ha regnato in certi casi non esaminati del passato, si basa sul principio che stiamo esaminando.

Questo principio si potrebbe chiamare *di induzione*, e i due punti di cui consta si potrebbero esprimere così:

(a) quando una cosa di tipo *A* si presenta insieme a una cosa di un altro tipo *B*, e non si è mai presentata separatamente da una cosa del tipo *B*, quanto più grande è il numero dei casi in cui *A* e *B* si sono presentate assieme tanto maggiore è la probabilità che si presenteranno assieme in un nuovo caso in cui si sa che è presente una delle due;

(b) in circostanze eguali, un numero sufficiente di casi in cui due fenomeni si siano presentati assieme farà della probabilità che si presentino ancora assieme quasi una certezza; e farà sì che questa probabilità si avvicini illimitatamente alla certezza.

Come si è appena detto, il principio si riferisce solo al verificare: si di ciò che ci aspettiamo debba avvenire in un singolo caso nuovo. Ma vogliamo anche sapere se vi sia qualche probabilità in favore della legge generale che le cose del tipo *A* si presentino sempre associate alle cose del tipo *B*, dato che sia noto un numero sufficiente di casi di associazione, e non si conosca nessun caso in cui quest'associazione è mancata. La probabilità della legge generale è ovviamente minore della probabilità del caso particolare, visto che se la legge generale è vera deve essere vero anche il caso particolare, mentre se è vero il caso particolare non è detto che anche la legge generale lo sia. Tuttavia, la ripetizione aumenta la probabilità della legge generale, non meno che quella del caso particolare. Possiamo dunque riprendere i due punti del nostro principio generale, in questa forma:

(a') quanto più grande è il numero dei casi in cui una cosa del tipo *A* si presenta associata a una cosa del tipo *B*, tanto più è probabile (se non si conosce nessun caso in cui l'associazione sia mancata) che *A* sia sempre associato a *B*;

(b') a parità di circostanze, un numero sufficiente di casi di associazione di *A* con *B* darà quasi la certezza che *A* sia sempre associato a *B*, e farà sì che questa legge generale si avvicini illimitatamente alla certezza.

Bisogna sottolineare che la probabilità è sempre relativa a certi dati. Nel nostro caso, i dati sono soltanto i casi noti di coesistenza di *A* e *B*. Vi possono essere altri dati, di cui si *potrebbe* tenere conto, e che inciderebbero gravemente sulla probabilità. Per esempio, un uomo che avesse visto moltissimi cigni bianchi potrebbe concludere, secondo il nostro principio, che in base ai dati è *probabile* che tutti i cigni siano bianchi, e la conclusione sarebbe per-

fettamente valida. Non è infirmata neppure dal fatto che alcuni cigni siano neri, perché una cosa può benissimo accadere a dispetto del fatto che alcuni dati la rendano improbabile. Nel caso dei cigni, uno potrebbe sapere che il colore è un carattere molto variabile in molte specie di animali, e che perciò un'induzione a proposito del colore è particolarmente esposta all'errore. Ma la conoscenza di questo fatto sarebbe un altro dato, e non proverebbe affatto che la probabilità derivante dai dati precedenti è stata calcolata erroneamente. Dunque, il fatto che le cose spesso non rispondano alle nostre aspettative non dimostra che *probabilmente* non si verificherà ciò che ci attendiamo in un dato caso o in una data classe di casi. Sicché il nostro principio di induzione non può mai essere *infirmato* da un ricorso all'esperienza.

Col ricorso all'esperienza, d'altra parte, non si potrà mai neanche *provare* la validità. L'esperienza potrebbe confermare il principio induttivo nei riguardi di casi già esaminati; ma per ciò che concerne i casi non ancora esaminati, solo il principio induttivo può giustificare un'inferenza dal caso esaminato al caso non esaminato. Tutti i ragionamenti che sulla base dell'esperienza vogliono dimostrare qualcosa a proposito del futuro o di parti del passato o del presente di cui non abbiamo esperienza partono dal principio induttivo; non possiamo dunque usare mai l'esperienza per provare il principio induttivo senza cadere in una petizione di principio. Dobbiamo o accettare questo principio sulla base dell'evidenza intrinseca, o rinunciare a ogni giustificazione della nostra fiducia nel verificarsi di certi fatti in futuro. Se il principio non è valido, non abbiamo nessun motivo di attenderci che domani il Sole sorga, che il pane sia più nutriente di una pietra o che se ci butteremo giù dal tetto, cadremo. Quando vedremo ciò che sembra il nostro migliore amico avvicinarsi a noi, non avremo motivo di supporre che il suo corpo non sia abitato dallo spirito del nostro peggiore nemico o di una persona totalmente estranea. Tutta la nostra condotta si basa su associazioni che si sono dimostrate valide in passato, e che perciò noi riteniamo probabile che saranno valide in futuro; e possiamo credere a questa probabilità solo sulla base del principio induttivo.

Hans Hahn, Otto Neurath Rudolf Carnap

La concezione scientifica del mondo

"Nel 1907 [...] mi ero appena laureato in fisica all'Università di Vienna, tuttavia i miei interessi più vivi si indirizzavano alla filosofia della scienza. Ero solito frequentare un gruppo di studenti che si riunivano ogni giovedì sera in un antico caffè viennese. Vi restavano fino a mezzanotte, e anche più tardi, discutendo problemi di scienza e di filosofia. L'orizzonte dei nostri interessi era molto ampio, ma il problema centrale su cui ritornavamo con insistenza era sempre lo stesso: com'è possibile evitare le ambiguità e le oscurità tradizionali della filosofia? Come *avvicinare* nella maniera più stretta possibile filosofia e scienza? Per 'scienza' non intendevamo solo le 'scienze naturali', ma anche le discipline sociali e umanistiche." Il ricordo è del fisico e filosofo Philipp Frank (1884-1966), e tra "i componenti più assidui e attivi del gruppo" c'erano il matematico Hans Hahn (1879-1934) e l'economista Otto Neurath. Li ritroviamo nella Vienna del primo dopo-guerra. Nel 1922 Hahn, ormai professore e sempre più attento agli studi di logica simbolica e di fondamenti della matematica, vincendo non poche resistenze, riesce a far assegnare la celebre cattedra di filosofia delle scienze induttive, che era stata di Ludwig Boltzmann e di Ernst Mach, a Moritz Schlick, addottoratosi in fisica (1904) con Max Planck, ma allora noto al pubblico filosofico soprattutto per il suo lavoro sulla teoria einsteiniana della relatività (1917) e per la sua *Allgemeine Erkenntnislehre* (1918). L'arrivo di Schlick doveva segnare l'atto di nascita di quello che sarà il Circolo di Vienna: i partecipanti al suo seminario (1923) e al gruppo di discussione formatosi di lì a un paio d'anni – nel quale spiccavano, oltre ai già citati Neurath e Frank (in quel periodo professore di fisica teorica a Praga), il filosofo e storico Victor Kraft (1880-1975) e il giurista Felix Kaufmann (1895-1949) – ne costituiscono il nucleo originario (cui si aggiunsero poi, tra gli altri, Karl Menger e il giovane Kurt Gödel). Nel 1926, su richiesta di Schlick, è chiamato a Vienna per ricoprire l'incarico di filosofia Rudolf Carnap, già allievo di Gottlob Frege a Jena e autore di studi di filosofia della geometria (1922) e della fisica (1926) di grande raffinatezza e portata teoriche. Due anni più tardi, nell'intento di "promuovere una visione

scientifica del mondo", viene fondato il *Verein Ernst Mach*; Schlick ne è acclamato presidente. Nell'agosto 1929 vede la luce un testo, *Wissenschaftliche Weltanfassung*, redatto da Neurath, rielaborato da Carnap e firmato anche da Hahn, che sarà considerato il manifesto del Circolo. Dell'anno successivo è il varo della rivista ufficiale, *Erkenntnis*, diretta da Carnap e da Hans Reichenbach (1891-1953), all'epoca professore di fisica a Berlino e membro della *Gesellschaft für empirische* (in seguito *wissenschaftliche*) *Philosophie*, affine per scopi e interessi al circolo viennese.

Nel manifesto, di cui è riportata qui la sezione più propriamente programmatica, oltre a riconoscere il debito nei confronti della critica di Mach ai presupposti metafisici della meccanica newtoniana (vedi pp. 85-87) e delle sue "indagini sulla formazione dei concetti scientifici a partire da elementi ultimi", gli autori (che in realtà non erano menzionati nell'intestazione, quasi a indicare il carattere collettivo di un testo in cui si sarebbe dovuto riconoscere ogni aderente al Circolo) menzionano in un'appendice conclusiva quelli che devono essere considerati i "rappresentanti di spicco della concezione scientifica del mondo": Albert Einstein, Bertrand Russell, Ludwig Wittgenstein.

Se negli anni Dieci del Novecento i frequentatori del caffè avevano guardato soprattutto ai lavori di Mach, Poincaré e Duhem, nella convinzione della necessità, al di là delle differenze tra le tre impostazioni, di una loro integrazione, ora era la figura di Einstein a risultare particolarmente significativa, sia per le sue conquiste teoriche del 1905 e del 1915, sia per il risultato sperimentale ottenuto nel 1919 da Arthur Stanley Eddington (1882-1944) (il quale aveva constatato, in occasione di un'eclisse solare, come la deviazione dei raggi luminosi di una stella in prossimità del Sole, che aveva come effetto l'apparente spostamento della sua collocazione sullo sfondo della volta celeste, fosse in accordo con le ipotesi einsteiniane) che veniva a consacrare la nuova teoria della gravitazione. Schlick era buon amico di Einstein, che si era adoperato per fargli avere la cattedra a Kiel nel 1921, l'anno prima che si trasferisse a Vienna. E la corrispondenza tra Schlick ed Einstein circa l'interpretazione della relatività è ancor oggi un modello di chiarezza epistemologica e rigore intellettuale. Si deve aggiungere che il mondo della fisica stava rivelando ai filosofi della scienza orizzonti nuovi e insospettati, prima con i risultati di Niels Bohr (vedi pp. 161-164), poi con la creazione della meccanica delle matrici (vedi p. 175).

Le rivoluzioni avvenute in fisica avevano mostrato che la teoria di Newton era tutt'al più una buona approssimazione sotto certe condizioni; ma in altre situazioni dava risultati scorretti, per esempio nel caso di corpi che si muovono ad altissima velocità o che sono vicini a masse gravitazionali molto grandi, oppure nel mondo delle particelle. Ma come era potuta "crollare" (questo termine deve essere inteso *cum grano salis*, vedi le osservazioni di Einstein a p. 150) una teoria che il suo stesso creatore aveva preso essere "dedotta" dai fenomeni? Ciò aveva messo in luce l'ambiguità di

locuzioni del genere, facendo rinascere i tradizionali dubbi sull'induzione.

D'altro canto, proprio Bertrand Russell aveva messo in discussione rozzee concezioni di uniformità della natura e formulato un suo principio di induzione. Ma l'influenza di Russell sugli esponenti del Circolo riguardava soprattutto la sua "analisi logica" del linguaggio scientifico e del linguaggio comune, nonché il suo programma mirante a ricondurre l'intero edificio matematico alle "solide" basi della logica. Lo stesso linguaggio dei tipi presentato nei *Principia mathematica* forniva un modello di come si potessero evitare antinomie, paradossi e trabocchetti vari, precisando e controllando le nostre modalità d'espressione.

Infine, occorre ricordare l'importanza che per i membri del Circolo ebbe la discussione, se non la lettura "passo a passo", del *Tractatus* (1921) di Ludwig Wittgenstein (1889-1951). Sebbene questi non prendesse parte agli incontri, intrattenendosi solo occasionalmente con qualche membro del Circolo, lo studio della sua opera, e in particolare della sua concezione del significato (per cui "comprendere una proposizione significa sapere come stanno le cose se essa è vera"), da un lato, e della critica, *viz* analisi logica del linguaggio, dei tradizionali problemi metafisici ("il più delle proposizioni e questioni che sono state scritte su cose filosofiche è non falso, ma insensato" e "si fonda sul fatto che noi non comprendiamo la nostra logica del linguaggio", ma vedi anche: "Risultato della filosofia non sono 'proposizioni filosofiche', ma il chiarirsi di proposizioni") dall'altro, dovevano affascinare gran parte dei membri del Circolo, a partire da Schlick e da Carnap.

Analisi logica del linguaggio (e non analisi storica, come era stato invece per il positivismo di Auguste Comte, o psicologica per l'empirismo di Mill) al fine di tracciare una demarcazione tra scienza e metafisica, eliminando al contempo gli pseudoproblemi in cui potevano cadere gli stessi scienziati, identificazione della distinzione logica analitico-sintetico con quella epistemologica di *a priori* e *a posteriori*, facendo così suonare la campana a morto per il sintetico *a priori* di Kant; liquidazione di ogni problema "profondo", overossia di ogni questione metafisica, bollata come vuoto "non senso"; recupero delle genuine istanze empiristiche nella pratica scientifica ed eliminazione di qualsiasi barriera artificiosa tra le scienze naturali e le cosiddette scienze dello spirito: ecco i grandi temi della nuova "filosofia scientifica", per usare il termine caro a Reichenbach, destinata ad affermarsi non solo a Vienna e a Berlino, ma anche nei circoli in qualche modo vicini di Leopoli-Varsavia, Münster o Uppsala.

Lasciamo alla penna di Karl Menger (1840-1921) la descrizione di come si svolgevano gli incontri promossi da Schlick: "La stanza del pianterreno dove si riuniva il Circolo – raramente più di venti persone – era piuttosto malandata. Eravamo soliti stare in piedi a parlare a piccoli gruppi finché Schlick batteva le mani e ci si sedeva. In alcuni casi Schlick cominciava leggendo una lettera che aveva ricevuto e che trattava di problemi che ave-

va già considerato o che avevamo in programma di affrontare. Tra i corrispondenti di Schlick vi erano Einstein e Russell. Altre volte iniziava annunciando nuove pubblicazioni (specialmente inglesi) e prometteva di farcene un resoconto, oppure chiedeva se ci fossero volontari per recensirle. Occasionalmente, Schlick presentava un ospite di passaggio a Vienna. Aveva così inizio la discussione [...]. In nessuna delle riunioni cui partecipai il dibattito toccò mai problemi politici o economici. Anche quelli che avevano forti convinzioni politiche non le manifestarono mai [...]. Era in queste circostanze che Schlick spiccava in qualità di interlocutore stimolante e di moderatore equilibrato".

Le pagine che seguono sono tratte da *Wissenschaftliche Weltauffassung*, Arthur Wolf, Wien 1929 (ora anche in O. Neurath, *Gesammelte philosophische und methodologische Schriften*, a cura di R. Haller e H. Rutte, 2 voll., Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1981, vol. I, pp. 299-336); tr. it. di S. Tugnoli Pataro, *La concezione scientifica del mondo*, a cura di A. Pasquinelli, Laterza, Roma-Bari 1979, pp. 74-79.

Per approfondire: P. Achinstein e S. F. Barker (a cura di), *The Legacy of Logical Positivism*, The Johns Hopkins Press, Baltimore 1969; A. J. Ayer, *Linguaggio, verità e logica*, tr. it. a cura di G. De Toni, Feltrinelli, Milano 1987; F. Barone, *Il neopositivismo logico*, 2 voll., Laterza, Roma-Bari 1986; R. Carnap, "Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre", *Ergänzungshefte im Auftrag der Kant-Gesellschaft*, a cura di H. Vaihinger, M. Fritschsen-Khölter e A. Liebert, in *Kant-Studien*, 56 (1922), pp. 1-87; Id., *Physikalische Begriffsbildung*, Karlsruhe 1926; A. Coffa, *La tradizione semantica da Kant a Carnap*, tr. it. il Mulino, Bologna 1998; H. Feigl, *Il Circolo di Vienna in America*, tr. it. Armando, Roma 1980; M. Ferrari, *Il Circolo di Vienna*, La Nuova Italia, Firenze 2000; Ph. Frank, *La scienza moderna e la sua filosofia*, tr. it. il Mulino, Bologna 1973; M. C. Galavotti e R. Simli (a cura di), *Il Circolo di Vienna: ricordi e riflessioni*, Pratiche Editrice, Parma 1993; A. Gargani (a cura di), *Il Circolo di Vienna: tra la scoperta del senso e la scoperta della verità. Atti del Convegno di studi (Biblioteca Classense di Ravenna, 19-20 aprile 1983)*, Longo, Ravenna 1984; L. Geymonat, *La Vienna dei paradossi: controversie filosofiche e scientifiche nel Wiener Kreis*, a cura di M. Quaranta, Il Poligrafo, Padova 1991; R. N. Giere e A. W. Richardson, *Origins of Logical Empiricism*, University of Minneapolis Press, Minneapolis 1996; R. Haller, *Neopositivismus: eine historische Einführung in die Philosophie der Wiener Kreis*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1993; O. Hanfling, *Logical Positivism*, Basil Blackwell, Oxford 1981; J. Jørgensen, "Origini e sviluppi dell'empirismo logico", tr. it. in E. Paci (a cura di), *Neopositivismo e unità della scienza*, Bompiani, Milano 1958, pp. 125-263; V. Kraft, *Il Circolo di Vienna*, tr. it. Peloritana, Messina 1969; B. McGuinness, *Wittgenstein. Il giovane Ludwig (1889-1921)*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1990; O. Neurath, *Il Circolo di Vienna e l'avvenire del-*

l'empirismo logico, tr. it. Armando, Roma 1977; P. Parrini, *Una filosofia senza dogmi. Materiali per un bilancio dell'empirismo contemporaneo*, il Mulino, Bologna 1980; A. Pasquinelli (a cura di), *Il neopositivismo*, UTET, Torino 1969; G. Polizzi (a cura di), *Filosofia scientifica ed empirismo logico*, Unicopli, Milano 1993; H. Reichenbach, *La nascita della filosofia scientifica (1951)*, tr. it. il Mulino, Bologna 1961; M. Schlick, *Spazio e tempo nella fisica contemporanea (1917)*, tr. it. Bibliopolis, Napoli 1979; J. A. Toulmin, *La grande Vienna*, tr. it. Garzanti, Milano 1975; F. Waismann, *Ludwig Wittgenstein e il Circolo di Vienna*, tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1975; J. R. Weinberg, *Introduzione al positivismo logico*, tr. it. Einaudi, Torino 1966; L. Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus e Quaderni 1914-1916*, tr. it. Einaudi, Torino 1974.



La concezione scientifica del mondo è caratterizzata non tanto da tesi specifiche, quanto, piuttosto, dall'orientamento di fondo, dalla prospettiva, dall'indirizzo di ricerca. Essa si prefigge come scopo l'*unificazione della scienza*. Suo intento è di collegare e coordinare le acquisizioni dei singoli ricercatori nei vari ambiti scientifici. Da qui l'enfasi sul *lavoro collettivo*, sull'intersoggettività, nonché la ricerca di un sistema di formule neutrali, di un simbolismo libero dalle scorie delle lingue storiche, non meno che la ricerca di un sistema globale dei concetti. Precisione e chiarezza vengono perseguite, le oscure lontananze e le insondabili profondità respinte. Nella scienza non si dà "profondità" alcuna; ovunque è superficie: tutta l'esperienza costituisce una rete intricata, non sempre domminabile e spesso inintelligibile solo in parte. Tutto è accessibile all'uomo e l'uomo è misura di tutte le cose. Si rivela qui l'affinità con i sofisti, non con i platonici; con gli epicurei, non con i pitagorici; con tutti i fautori del mondanismo e del terreno. La concezione scientifica del mondo non conosce *enigmi insolubili*. Il chiarimento dei problemi filosofici tradizionali conduce, in parte, a smascherarli quali pseudoproblemi, in parte, a convertirli in problemi empirici, soggetti, quindi, al giudizio della scienza sperimentale. Proprio tale chiarimento di problemi e asseriti costituisce il compito dell'attività filosofica, la quale, comunque, non tende a stabilire specifici asseriti "filosofici". Il metodo di questa chiarificazione è quello dell'*analisi logica*; per dirla con Russell, esso "si è sviluppato via via nel conte-

sto delle indagini critiche dei matematici, segnando un progresso simile a quello promosso da Galileo nella fisica: la sostituzione di risultati particolari comprovabili, in luogo di tesi generali correnti non comprovabili, motivate in termini di mera fantasia".

Siffatto *metodo dell'analisi logica* è ciò che distingue essenzialmente il nuovo empirismo e positivismo da quello precedente, che era orientato in senso più biologico-psicologico. Se qualcuno afferma "esiste un dio", "il fondamento assoluto del mondo è l'inconscio", "nell'essere vivente vi è un'entelchia come principio motore", noi non gli rispondiamo "quanto dici è falso", bensì a nostra volta gli poniamo un quesito: "che cosa intendi dire con i tuoi asseriti?". Risulta chiaro, allora, che esiste un confine preciso fra due tipi di asserzioni. All'uno appartengono gli asseriti formulati nella scienza empirica: il loro senso si può stabilire mediante l'analisi logica; più esattamente, col ridurli ad asserzioni elementari sui dati sensibili. Gli altri asseriti, cui appartengono quelli citati sopra, si rivelano affatto privi di significato, assumendoli come li intende il metafisico. Spesso è possibile reinterpretarli quali asseriti empirici; allora, però, essi perdono il proprio contenuto emotivo, che in genere è basilare per lo stesso metafisico. Il metafisico e il teologo credono, a torto, con i loro enunciati di asserire qualcosa, di rappresentare uno stato di fatto. Viceversa, l'analisi mostra che simili enunciati non dicono nulla, esprimendo solo atteggiamenti emotivi. Espressioni del genere possono, certo, avere un ruolo pregnante nella vita; ma, al riguardo, lo strumento espressivo adeguato è l'arte, per esempio la lirica o la musica. Si sceglie, invece, la veste linguistica propria di una teoria, ingenerando un pericolo: quello di simulare un contenuto teorico inesistente. Se un metafisico o un teologo vogliono mantenere nel linguaggio la forma usuale, debbono consapevolmente e chiaramente ammettere di non fornire rappresentazioni, bensì espressioni; di non offrire teorie, di non comunicare conoscenze, bensì poesie o miti. Nulla si può contestare a un mistico che affermi di avere esperienze che vanno al di sopra o al di là di tutti i concetti. Ma egli non può parlarne, poiché parlare significa ricorrere a concetti, ricondurre a stati di fatto articolabili scientificamente.

La concezione scientifica del mondo respinge la metafisica. Ma come spiegarne gli errori? La questione ammette profili differenti: psicologico, sociologico, logico. Le indagini psicologiche

al riguardo appaiono ancora in uno stadio iniziale; i primi passi verso una comprensione più profonda sono forse reperibili nelle ricerche della psicoanalisi freudiana. Analoga è la situazione in ambito sociologico; basti menzionare la teoria della "sovrastruttura ideologica". Qui il campo è ancora aperto per ulteriori approfondimenti.

Più avanzata è la comprensione dell'*origine logica degli errori metafisici*, specialmente grazie ai lavori di Russell e di Wittgenstein. Nelle teorie e nelle stesse formulazioni delle questioni metafisiche sono presenti due errori logici basilari: un'aderenza troppo stretta alla forma delle *lingue tradizionali* e un inadeguato intendimento della funzione logica del pensiero. La lingua comune, per esempio, usa la medesima forma grammaticale, cioè il sostantivo, per designare sia cose ("mela"), sia qualità ("durezza"), sia relazioni ("amicizia"), sia processi ("sonno"); in tal modo, essa induce erroneamente a intendere i concetti funzionali come concetti di cose (ipostatizzazione, sostanzializzazione). È possibile addurre molteplici esempi di simili travisamenti linguistici, che sono del pari risultati fatali per la filosofia.

Il secondo errore basilare della metafisica consiste nel ritenere che il *pensiero* possa, da solo, senza il ricorso a qualche materiale empirico, condurre alla conoscenza, o almeno sia in grado di ricavare per via di inferenze da elementi fattuali noti nuove cognizioni. L'indagine logica, però, mostra che ogni pensiero, ogni inferenza, non è che un passaggio da proposizioni ad altre proposizioni che non contengono nulla che non sia già presente nelle prime. Risulta, quindi, impossibile sviluppare una metafisica a partire dal "pensiero puro".

Così, mediante l'analisi logica, viene superata non solo la metafisica nell'accezione più ristretta, classica, del termine, in particolare la metafisica scolastica e quella dei sistemi dell'idealismo tedesco, bensì anche la metafisica latente dell'*apriorismo* kantiano e moderno. Nella concezione scientifica del mondo non si danno conoscenze incondizionatamente valide derivanti dalla pura ragione, né "giudizi sintetici *a priori*", quali ricorrono alla base sia della teoria della conoscenza di Kant, sia, ancor più, di tutte le ontologie e metafisiche pre- o postkantiane. [...] La tesi fondamentale dell'empirismo moderno consiste proprio nell'escludere la possibilità di una conoscenza sintetica *a priori*. La concezione

scientifica del mondo riconosce solo le proposizioni empiriche su oggetti di ogni sorta e le proposizioni analitiche della logica e della matematica.

Tutti i fautori della concezione scientifica del mondo concordano nel rifiuto sia della metafisica esplicita, sia di quella latente, propria dell'apriorismo. Ma il Circolo di Vienna sostiene, inoltre, che anche gli asserti del *realismo* (critico) e dell'*idealismo* circa la realtà o irrealtà del mondo esterno e delle altre menti hanno carattere metafisico, essendo soggetti alle stesse obiezioni rivolte contro gli asserti della metafisica antica: essi sono privi di senso, in quanto non verificabili e vacui. *Qualcosa è "reale" nella misura in cui risulta inserito nel quadro generale dell'esperienza.*

Moritz Schlick

Empirismo e verificazione

"Di tempo in tempo sono stati banditi concorsi a premi sulla questione dei progressi compiuti dalla filosofia in un determinato periodo." Tuttavia, constata con una certa ironia Moritz Schlick (1882-1936) in "Die Wende der Philosophie" (apparso sul primo numero di *Erkenntnis* del 1930), la difficoltà di stabilire il vincitore lascia adito al sospetto che sia impossibile individuare "il benché *minimo* progresso" in filosofia. Eppure, la filosofia resta una "grande" impresa, anche se occorre ammettere che "non è un sistema di enunciati, e quindi non è una scienza". In altre parole, essa consiste nell'"attività mediante la quale si chiarisce il significato degli enunciati. Dalla filosofia gli enunciati vengono esplicitati, dalla scienza verificati". L'aver individuato questa divisione di compiti è la vera grande "svolta" della filosofia, che non sarebbe stata possibile senza i "nuovi strumenti" offerti dalla logica, i quali, "intravisti da Leibniz, sono stati notevolmente sviluppati da Gottlob Frege e da Bertrand Russell negli ultimi decenni", anche se solo il Wittgenstein del *Tractatus* (1921) li ha saputi "valorizzare adeguatamente". Ed è da Wittgenstein che Schlick ritiene di poter trarre il criterio di significanza empirica che permette di distinguere tra enunciati genuini e (pseudo) enunciati (e in base al quale il significato di un enunciato non è altro che il metodo della sua verifica). Gli asserti metafisici, in quanto inverificabili, risultano privi di significato, ma l'analisi filosofica degli stessi enunciati scientifici consente di chiarire e ridefinire alcune nozioni chiave, per esempio quella di causalità posta in crisi dalla nuova meccanica quantistica. In un celebre saggio sulla causalità nella fisica contemporanea (1931) Schlick insiste sul ruolo decisivo dell'osservazione e dell'esperimento nel "farci entrare in contatto con la natura". E aggiunge: "le relazioni che si stabiliscono tra noi e la realtà si formulano in espressioni linguistiche [...] il cui significato effettivo è quello di istruzioni per possibili operazioni". Il fisico, e più in generale lo scienziato, osservativo e/o sperimentale, non può prescindere dalle sue "constatazioni", come si legge in "Über das Fundament der Erkenntnis" (1934): "queste sono sempre della forma: 'qui, ora, così e così'. Per esempio: 'qui, ora, due punti neri coincidono', oppure

‘qui, ora, del giallo e dell’azzurro si toccano’, o anche: ‘qui, ora, dolore’, e così via. Ciò che accomuna tutti questi asseriti è che in essi compaiono delle parole *indicative*, le quali hanno un senso coincidente con quello di qualche gesto ostensivo compiuto al momento”. Le constatazioni costituiscono dunque “i punti di contatto assolutamente fermi [...] tra conoscenza e realtà”. E “sono le uniche proposizioni sintetiche che non siano delle ipotesi”. Peraltro, in queste stesse pagine Schlick precisa che “non è vero che [tali punti di contatto] si trovino alla base della scienza; al contrario, la conoscenza perviene a essi come una fiamma, attingendoli per un attimo e subito consumandoli. E nuovamente nutrita e alimentata, guizza di nuovo verso l’esperienza futura”.

La concezione schlickiana dell’attività filosofica e insieme dell’impresa scientifica doveva suscitare perplessità in altri rappresentanti del Circolo di Vienna. Non tutti, infatti, erano disposti ad accettare, come fece invece Hans Hahn negli ultimi anni della sua vita, che leggi universali della fisica, per esempio quella newtoniana della gravità, richiedendo “infinite verifiche”, fossero non tanto enunciati significanti quanto “regole” per fornire enunciati particolari dotati di significato. Dal canto suo Rudolf Carnap doveva attenuare nel corso del tempo il criterio di significanza e affannarsi a Otto Neurath nella critica alle constatazioni schlickiane, ammettendo una rivedibilità degli stessi “enunciati protocollari” (vedi p. 233). Rispondendo alle obiezioni e polemizzando sia con il criterio dell’economia di Mach sia con la concezione della “verità come coerenza” di Neurath (non nominata esplicitamente), Schlick ribadisce in un breve saggio del 1935 (pubblicato in francese e uscito in tedesco solo nel 1986, dopo il ritrovamento del manoscritto originale tra le sue carte inedite) il carattere “incorreggibile” delle constatazioni: “L’enunciato ‘un minuto fa ho visto blu’ significa sicuramente un’ipotesi e può costituire un’illusione mnemonica (non importa affatto stabilire qui con quali criteri diciamo ciò). Ma lo stimolo alla formulazione di questa ipotesi lo dà una constatazione, in relazione alla quale non ha alcun senso parlare di errore. Essa dovrebbe venir formulata con l’asserto: ‘mi ricordo di aver visto blu un minuto fa’, e questo enunciato è semplicemente definitivo e non correggibile. [...] Di qui cade anche una nuova luce sul principio formulato occasionalmente nell’Antichità: ‘i sensi non ci ingannano mai, solo l’intelletto ci induce in errore’. Questo principio è in effetti tautologicamente vero quando viene inteso (ed è questa chiaramente l’unica interpretazione ragionevole) come un caso speciale dell’enunciato: ‘le costatazioni sono definitive, indubitabili, incorreggibili; le ipotesi invece no’ (e le ipotesi possono essere definite in un senso facilmente comprensibile come creazioni dell’“intelletto”)”.

Nel citato articolo sulla causalità nella fisica contemporanea Schlick aveva esordito deplorando la “straordinaria povertà” dell’immaginazione umana (persino “il variopinto regno di favola delle *Mille e una notte* è costruito con gli elementi tratti dal mondo della vita quotidiana, con l’aggiun-

ta di nuclei estremamente esigui di materiale inventato”). Tale era anche il comportamento dei fisici (come mostrava, per esempio, l’ostinazione con cui essi avevano concepito l’etere come supporto dell’interazione elettromagnetica e di quella gravitazionale, intendendolo come una “sostanza visibile e tangibile” – ma poi era arrivato Einstein!). “Solo quando i risultati sperimentali gli impongono l’impiego di nuovi sistemi concettuali [l’uomo di scienza...] intravede vie nuove e si distacca dalle abitudini mentali che aveva fino a quel momento”. Pur essendo essenzialmente interessato alla portata cognitiva degli asseriti scientifici, Schlick riteneva che un analogo rinnovamento dovesse essere promosso anche in ambito etico (come testimoniavano i suoi studi, dalla giovanile *Lebensweisheit* del 1908 alle *Fragen der Ethik* del 1930), al fine di superare la morale (kantiana) del dovere e di realizzare il libero dispiegamento degli interessi creativi dei singoli.

Per la cronaca, Moritz Schlick fu assassinato il 22 giugno 1936, mentre saliva la scalinata dell’Università. Aveva esaminato e bocciato uno studente nazista, tale Johann Nelböck, autore (guarda caso) di una tesi di etica. Inizialmente condannato a morte, Nelböck si vide ridotta la pena a soli dieci anni di prigione e, dopo l’occupazione nazista di Vienna, fece richiesta di completa assoluzione (1941), adducendo a ragione il fatto che, dopo tutto, aveva eliminato “un professore ebreo” (Schlick era invece un rampollo della nobiltà prussiana).

Le pagine che seguono sono tratte da M. Schlick, “Positivismus und Realismus”, in *Erkenntnis*, 3 (1932), pp. 1-31; tr. it. di E. Picardi, “Positivismo e realismo”, in Id., *Tra realismo e neo-positivismo*, con introduzione di L. Geymonat, il Mulino, Bologna 1983, pp. 86-93.

Di Schlick si vedano anche: *Teoria generale della conoscenza* (1918), tr. it. a cura di E. Palombi, Franco Angeli, Milano 1986; “La svolta nella filosofia” (1930), tr. it. in *Tra realismo e neo-positivismo*, cit., pp. 27-34; “La causalità nella fisica contemporanea”, tr. it. in *Tra realismo e neo-positivismo*, cit., pp. 37-78; “Sul fondamento della conoscenza”, tr. it. in *Tra realismo e neo-positivismo*, cit., pp. 133-154; *Problemi di etica* (1930) – *Aforismi*, tr. it. Patron, Bologna 1970; *Forma e contenuto* (1932), tr. it. a cura di P. Parrini, Boringhieri, Torino 1983; *Philosophical Papers*, a cura di H. L. Mulder e B. van de Velde-Schlick, 2 voll., Reidel, Dordrecht-Boston-London 1978-1979.

Per approfondire: M. Cambula, *Il significato della conoscenza: saggio sulla Erkenntnislehre di M. Schlick*, Herbita, Palermo 1980; E. Gadol (a cura di), *Rationality and Science. A Memorial Volume for Moritz Schlick in Celebration of Centennial of His Birth*, Springer, Berlin-New York 1982; L. Geymonat e C. Bicchieri, *Il primo Schlick. Recenti critiche epistemologiche al modello neopositivistico*, Unicopli, Milano 1978; R. Haller (a cura di), *Schlick und Neurath. Beiträge zum Internationalen philosophischen Symposium aus Anlass der 100. Wiederkehr der Geburtstage von M. Schlick und O. Neurath* (Wien, 16-20 Juni 1982), Rodopi, Amsterdam 1982.

Compito specifico della filosofia è cercare di chiarire il *significato* di affermazioni e problemi. Lo stato caotico in cui la filosofia si è trovata nella maggior parte della sua storia va ricondotto alla malagurata consuetudine, anzitutto, di vedere con troppa ingenuità problemi genuini in certe formulazioni, senza preoccuparsi di provare se inerisse loro effettivamente un senso plausibile, nonché di voler risolvere i problemi affrontandoli con particolari metodi filosofici, del tutto diversi da quelli delle singole scienze. Con l'analisi filosofica non siamo in grado di distinguere se qualcosa è reale o no, bensì solo di stabilire il *significato* dell'affermazione che essa è reale; se, di fatto, lo sia, oppure no, può venire accertato soltanto con i metodi della vita quotidiana e della scienza, cioè mediante l'*esperienza*. [...]

Quando è che, in generale, siamo sicuri che il senso di un quesito sia chiaro? Evidentemente, se, e solo se, siamo in grado di descrivere con esattezza le condizioni nelle quali si potrebbe rispondere con un sì, oppure, rispettivamente, le circostanze nelle quali si dovrebbe rispondere con un no. Specificando queste condizioni, e solo così, si definisce il senso del quesito dato.

Il primo passo di ogni attività filosofica e il fondamento di qualsiasi riflessione consiste nel comprendere che è affatto impossibile esibire il significato di un enunciato se non descrivendo lo stato di cose che deve sussistere affinché l'enunciato stesso risulti vero. Certo, si può dire che qualunque enunciato indichi già di per sé tale stato di cose, ma, evidentemente, ciò vale soltanto per coloro che lo *comprendono*. Quando posso dire di aver capito il significato delle parole che ricorrono in un enunciato? Esse sono esplicitabili mediante definizioni. Ma nelle definizioni compaiono anche termini nuovi, il cui significato dev'essere a sua volta chiarito. Le definizioni non possono regredire all'infinito, e, di conseguenza, ci si arresta a qualche termine, il cui significato non può essere a sua volta descritto mediante enunciati, bensì deve venire indicato immediatamente. In ultima analisi, il significato delle parole deve essere mostrato, cioè *dato*. Questo avviene con un atto di ostensione, d'indicazione, ove l'oggetto indicato non può che essere dato, altrimenti non sapremmo a che cosa riferirci.

Dopo quanto s'è detto, per stabilire il significato di un enunciato, dobbiamo trasformarlo mediante successive definizioni, fino a che non compaiano in esso solo parole il cui significato non

possa venir più definito bensì unicamente mostrato. Il criterio della verità o della falsità di una proposizione consiste, dunque, nella circostanza che, date determinate condizioni (descritte nelle definizioni), siano o non siano presenti certi stati di fatto. Determinando questo, si determina tutto quel che è enunciato nella proposizione, e, quindi, se ne coglie il significato. Ma se *per principio* non abbiamo la possibilità di verificare una proposizione, se, cioè, non sappiamo assolutamente che procedura seguire per accertarne la verità o la falsità, allora evidentemente non sappiamo affatto qual è il suo significato. In tal caso, non siamo in grado d'intenderla, né d'immaginare, a partire dalle parole e con l'ausilio di possibili definizioni, delle esperienze probanti; infatti, nella misura in cui fossimo capaci di far ciò, sapremmo anche, in linea di principio, quale via condurrebbe alla sua verifica, quantunque per motivi pratici non fossimo in grado di portarla effettivamente a compimento. L'indicazione delle circostanze in cui una proposizione è vera *equivale* perfettamente all'indicazione del suo significato. [...]

Il contenuto della nostra concezione è in effetti assolutamente banale (e proprio per questo risulta così apprezzabile): un enunciato possiede un significato esplicitabile se, e solo se, il fatto che esso sia vero produce una differenza rilevabile. Una proposizione tale che il mondo rimanga identico tanto se è vera, quanto se è falsa, non dice proprio nulla intorno alla realtà, è vuota, non comunica niente, non è possibile attribuirle significato alcuno. Una differenza *accertabile* è presente solo nel caso che vi sia una differenza nel dato, poiché accertabile indubbiamente non vuol dire altro che "riscontrabile nel dato".

È ovvio che il termine "verificabilità" viene qui inteso solo *in linea di principio*, poiché, naturalmente, il significato di un enunciato non dipende dal fatto che le condizioni in cui ci troviamo in un dato tempo consentano o impediscano l'effettiva verifica. L'enunciato "sull'altra faccia della Luna vi sono montagne alte 3000 metri" è senza dubbio dotato di significato, anche se mancano i mezzi tecnici per verificarlo. E rimarrebbe tale anche se, scientificamente, sapessimo con certezza che non si potrà mai raggiungere la superficie dell'altra faccia della Luna. La verifica resterebbe sempre concepibile, ossia saremmo sempre in grado d'indicare quali dati di fatto dovremmo esperire per compiere l'accer-

tamento. La verifica sarebbe *logicamente* possibile, quale che fosse l'effettiva possibilità della sua attuazione; e solo ciò importa.

Ma se qualcuno dicesse che all'interno dell'elettone è sempre presente un nucleo, seppur privo di effetti esteriori, tale che la sua esistenza non possa mai apparire in natura, allora si avrebbe un'asserzione senza significato. Infatti, dovremmo chiedere all'ideatore di detta ipotesi: che cosa *intendi* affermare, propriamente, quando parli dell'esistenza di un "nucleo"? Al che egli potrebbe rispondere soltanto: voglio dire che nell'interno dell'elettone esiste qualcosa. A questo punto, gli domanderemo: ma che cosa accadrebbe se ciò non esistesse? Ed egli dovrebbe rispondere: tutto rimarrebbe come prima. Infatti, stando alle sue affermazioni, da quel "nucleo" non deriverebbe alcun effetto, e, quindi, non si avrebbe nessun mutamento osservabile, così che l'insieme dei dati non ne sarebbe in alcun modo affetto. Emergerebbe allora la conclusione che il nostro interlocutore non è riuscito a comunicarci il significato della sua ipotesi, e che essa pertanto è priva di senso. In tal caso, l'impossibilità della verifica non sarebbe pratica, bensì *logica*, poiché con l'affermazione della completa mancanza di effetti osservabili verrebbe preclusa *per principio* ogni possibilità di controllo sulla base dei dati.

Non bisogna credere che la differenza fra impossibilità di verifica per principio e impossibilità solamente pratica non sia netta, e quindi risulti a volte difficile da stabilire. L'impossibilità "per principio", infatti, è soltanto logica, ed è distinta da quella empirica, non per grado, bensì qualitativamente. Ciò che è impossibile solo in pratica rimane pur sempre *pensabile*, ma ciò che risulta logicamente impossibile è contraddittorio, non potendo, in genere venire neppure pensato. Di fatto, vediamo che nella prassi scientifica questa differenza è stata sempre chiaramente avvertita con intuizione sicura. I fisici sarebbero i primi a respingere l'asserzione del nostro esempio circa l'imperscrutabile nucleo dell'elettone, e lo farebbero replicando che un'asserzione del genere è un semplice gioco di parole, non un'ipotesi. In tutti i tempi, gli scienziati più prestigiosi hanno stabilito il significato delle loro affermazioni secondo il criterio sopra descritto, anche se per lo più non ne sono stati consapevoli.

Il nostro punto di vista non rappresenta, dunque, per la scienza qualcosa di estraneo e di straordinario, quanto, piuttosto, qualco-

sa di costantemente ovvio. Né, del resto, potrebbe essere altrimenti, dato che solo nei suoi termini gli enunciati risultano verificabili; e, poiché tutta la prassi scientifica consiste proprio nell'esame della verità degli enunciati, ne deriva un continuo riconoscimento della giustezza della nostra tesi.

Se fosse necessaria anche una conferma esplicita, la si potrebbe trovare con molta chiarezza nelle svolte critiche della scienza, là dove la ricerca scientifica è stata costretta a rendere consapevoli e palesi i suoi presupposti più ovvi. Ciò in genere si verifica quando certe difficoltà di principio inducono a sospettare che debba esservi qualcosa di errato. L'esempio più celebre al riguardo, esempio che rimarrà sempre degno di riflessione, è l'analisi einsteiniana del concetto di tempo, consistente proprio nella chiarificazione del *significato* delle nostre asserzioni sulla simultaneità di due eventi spazialmente distanti. Einstein suggerì ai fisici (e ai filosofi) che anzitutto occorre precisare cosa *s'intende* per simultaneità, il che può venire fatto solo mostrando come si verifica l'enunciato "due eventi sono simultanei". Con questo risulta altresì specificato *completamente* il suo stesso significato. E quel che vale per il concetto di simultaneità vale anche per qualsiasi altro concetto: ogni enunciato ha significato in quanto è verificabile, asserendo soltanto ciò che viene verificato e *nient'altro* all'intuitori di questo. Se qualcuno afferma che un enunciato contiene qualcosa di più, deve saper indicare di che si tratta e, inoltre, deve dire che cosa cambierebbe nel mondo qualora egli s'ingannasse. Ma tale possibilità è esclusa, poiché tutte le differenze osservabili sono già implicate nella verifica.

Secondo l'esempio della simultaneità, l'analisi semantica, com'è giusto e naturale per il fisico, risulta condotta fino al punto necessario per decidere della verità o falsità di un enunciato temporale in base alla presenza o all'assenza di un determinato evento fisico (poniamo, il coincidere di un ago indicatore con un certo punto di una scala metrica). Ma è chiaro che si può ancora chiedere: cosa *significa* affermare che l'indicatore coincide con un certo punto della scala metrica? E la risposta non può consistere che nel rinvio a certi dati di fatto, o, come si suole dire, a certe "impressioni sensoriali". Questo viene generalmente ammesso, soprattutto dai fisici. "In ciò il positivismo avrà sempre ragione, ossia nel sostenere che non esistono altre fonti di conoscenza all'in-

fuori delle impressioni sensoriali” – scrive Planck, intendendo chiaramente che la verità o la falsità di un enunciato della fisica dipendono soltanto dalla presenza di determinate impressioni sensoriali (costituenti una classe particolare di dati).

Ma vi saranno sempre dei critici propensi a dire: ammetteremo pure che la verità di un enunciato della fisica non sia verificabile in altro modo che con la presenza di determinate impressioni sensoriali; questa, però, è un'asserzione completamente diversa da quella, secondo cui il *significato* di un'affermazione verrebbe così stabilito senza residui, ciò che deve per altro escludersi, potendo un enunciato contenere di più di quanto in esso sia verificabile. Che l'indice mostri un certo grado della scala non significherebbe solo che sono presenti certe sensazioni (bensì suggerirebbe "l'esistenza di un determinato stato di cose nel mondo esterno").

Contro questa critica dell'identificazione di significato e verifica, va detto quanto segue:

1. L'obiezione è avanzata dai fisici soltanto quando abbandonano il vero e proprio ambito delle proposizioni scientifiche e incominciano a filosofare (in fisica si danno ovviamente solo asserzioni sulla natura e sul comportamento di cose o processi; affermare la loro "realtà" è un discorso che esula dal contesto). Entro il suo campo specifico, il fisico riconosce la giustezza del nostro punto di vista senza riserve. Abbiamo già rilevato ciò, illustrando le prerogative del concetto di simultaneità. Vi sono alcuni filosofi che dicono: certo, si può constatare solo la simultaneità relativa, ma da questo non segue che non esista la simultaneità assoluta, nella quale continuiamo a credere! La falsità di tale affermazione non si può dimostrare in nessun modo, ma la stragrande maggioranza dei fisici è giustamente dell'avviso che essa sia priva di senso. Bisogna, pertanto, insistere nel sottolineare che in entrambi i casi abbiamo a che fare esattamente con lo stesso stato di cose. In linea di principio, non fa nessuna differenza sostenere che la frase "due eventi sono simultanei" significa più di quanto si possa in effetti verificare o che l'enunciato "l'indice si trova sulla prima tacca della scala metrica" vuol dire più di quanto sia verificabile. Il fisico che trattasse le due questioni come se fossero diverse si renderebbe colpevole di un'incongruenza. Egli tenterebbe di giustificarsi dicendo che nel secondo caso, in cui il problema riguarda la "realtà del mondo esterno", è in gioco qualcosa di più del pun-

to di vista filosofico. Ora, questo argomento appare troppo vago, perché possiamo attribuirgli un gran peso, ma cercheremo ugualmente di vedere se possieda qualche significato.

2. È senz'altro vero che ogni enunciato su un oggetto fisico, o su un evento, significa qualcosa di più di quanto viene verificato, poniamo, attraverso una singola esperienza. Si presuppone che tale esperienza abbia luogo in condizioni ben definite, la cui realizzazione dipende, a sua volta, dalla presenza di dati specifici. Inoltre, si presuppone che siano sempre possibili ulteriori verificazioni (conferme), le quali naturalmente si riducono anch'esse a eventi dati. In questo modo si può e si deve rendere conto delle illusioni dei sensi, dell'errore, ed è facile capire come vadano classificati i casi ove andrebbe ammesso che l'osservatore ha solo sognato che l'indicatore segnasse un determinato grado, ovvero che ha compiuto un'osservazione frettolosa. [...] Rigorosamente parlando, il significato di un enunciato su eventi fisici corrisponde a una classe illimitata di possibili verificazioni e, di conseguenza, un enunciato siffatto non potrà mai venire dimostrato come vero in assoluto. Anzi, è stato universalmente riconosciuto che anche le asserzioni più sicure della scienza debbono venire considerate sempre delle ipotesi, ossia debbono restare aperte a successive precisazioni e correzioni. [...]

Ancora una volta: il significato di un enunciato della fisica non è mai determinato mediante una singola verifica, bensì bisogna sempre concepirlo nei termini che seguono. Se sono date le condizioni x , allora si presentano i dati y , potendo x includere un numero illimitatamente ampio di condizioni, senza pregiudizio per la verità dell'enunciato in questione (ciò vale anche se si tratta di un enunciato che verte su un evento accaduto una sola volta, come, per esempio, un evento storico, in quanto esso ha sempre innumerevoli conseguenze, la cui realizzazione è suscettibile di verifica). Pertanto, il significato di ogni enunciato della fisica consiste, in ultima analisi, in una carena di dati di fatto; il singolo dato come tale non ha rilevanza. Se, dunque, un positivista avesse mai detto che gli unici oggetti della scienza sono le singole esperienze date, allora avrebbe senz'altro avuto torto. Ciò che gli scienziati cercano sono esclusivamente le regole circa le connessioni tra i dati esperiti, in base alle quali è possibile fare previsioni. Nessuno negherà che l'unica verifica delle leggi di natura consista nel fatto che esse

conducano a previsioni corrette. L'obiezione, spesso ricorrente in proposito, secondo la quale ciò che è immediatamente dato, potendo al massimo costituire l'oggetto della psicologia, solo per errore viene assunto a oggetto della fisica, risulta così confutata.

3. La cosa più importante da dire è questa. Se qualcuno ritiene che il significato di un enunciato non s'esaurisca in quel che può verificarsi nei dati di fatto, ma lo oltrepassi, dovrà tuttavia ammettere che tale eccedenza non si lascia affatto descrivere, né enunciare in alcun modo, né esprimere in alcuna lingua. Lo si inviti, infatti, a cercare di comunicare detto significato! Nella misura in cui egli riuscirà a *comunicarne* qualcosa, troverà anche che la comunicazione consiste proprio nell'indicare circostanze utilizzabili per la verifica, onde la nostra tesi risulterà confermata. Altrimenti, egli crederà di aver suggerito un significato, ma un più attento esame mostrerà che le sue parole significano soltanto che esiste *qualche cosa* ulteriore, sulla natura della quale manca ogni possibilità di dire alcunché. In realtà, egli non avrà comunicato nulla, essendo la sua affermazione priva di significato; infatti, non si può asserire l'esistenza di una cosa, senza specificare *di che cosa* – appunto – si asserisca l'esistenza. Nel nostro esempio del "nucleo dell'elettrone" non sperimentabile per principio viene illustrato proprio ciò.

Rudolf Carnap

La logica della scienza

"Wittgenstein è l'ispiratore ricco di paradossi geniali, Carnap l'indagatore minuzioso." Così Francesco Barone (1923-2001) nell'opera dedicata al *Neopositivismo logico* (1977). Ed è forse a causa di questa differenza che, come traspare dai ricordi dello stesso Rudolf Carnap (1891-1970) nella sua autobiografia intellettuale, i due erano destinati a non intendersi. Se Rudolf trovava "molto interessante, eccitante e feconda" la relazione con Ludwig, questi dall'inizio del 1929 preferì interromperla per incontrare solo Moritz Schlick e Friedrich Waismann. "Sebbene la differenza dei nostri atteggiamenti e delle nostre personalità si esprimesse soltanto in certe occasioni, comprendevo benissimo che Wittgenstein la avvertisse continuamente e, al contrario di me, ne fosse disturbato."

Ammesso tra i membri del Circolo di Vienna, Carnap doveva fare sensazione con la sua prima grande opera, *Der logische Aufbau der Welt* (1928). Sul modello del *Principia mathematica* (1910-1913) di Russell e Whitehead, dove tutti i concetti matematici sono ricondotti a concetti logici, Carnap presenta una "teoria della costituzione" che ha come obiettivo di disporre, tramite opportune "regole" di "definizione" e "trasformazione" (che consentono di "tradurre" un dato enunciato in uno a esso equivalente, avente cioè lo stesso valore di verità), i concetti e gli oggetti delle scienze naturali e sociali in un ordine dettato dalla loro "riducibilità". Individuati quattro tipi fondamentali d'oggetti (gli oggetti culturali, le menti degli altri, gli oggetti fisici e i dati della mente propria), Carnap si propone di mostrare che tutti gli enunciati della scienza possono essere trasformati in enunciati riguardanti esperienze immediate del soggetto conoscente dotati dei medesimi valori di verità. In tal modo, egli fa propria, oltre alla dottrina degli elementi di Mach, la lezione "fenomenologica" di Carl Stumpf (1848-1936) – ponendo come "regione base" il "dato" e precisando che non vi è alcuna necessità di supporre un "soggetto", un io, "cui il dato sia dato" –, insieme all'istanza già wittgensteiniana per cui la precisazione del significato di un enunciato richiede l'indicazione delle "situazioni sperimentali" in cui lo "si potrebbe chiamare 'vero'" e di quelle "in cui lo si potrebbe chiamare 'falso'". Con un duplice risultato: per Carnap, in-

fatti, il "sistema della costituzione" mostrerebbe, da un lato, che tutte le asserzioni scientifiche possono essere verificate o falsificate per mezzo di esperienze immediate; dall'altro, che tutte le asserzioni non passibili di controllo empirico (non "riducibili" al "dato") sono prive di significato, e dunque bisogna eliminarle, a cominciare da quelle che sarebbero all'origine di molti degli pseudoproblemi che hanno sviato (e continuano a sviare) la ricerca filosofica. Di qui l'attacco alla "metafisica" che Carnap conduce in un testo del 1928, dal titolo emblematico *Scheinprobleme in der Philosophie*, e che riqualificherà in termini logico-linguistici in un noto articolo del 1932 ("Überwindung der Metaphysik durch logische Analyse der Sprache"), nel quale, riprendendo alcuni passi delle analisi compiute da Martin Heidegger (1889-1976) in "Was ist Metaphysik?" (1929), ne denuncerà l'insensatezza, attribuendo alle considerazioni metafisiche tutt'al più il ruolo di "espressioni del sentimento della vita".

In quegli stessi anni, colpito dalle accuse di solipsismo rivolte al "sistema di costituzione" presentato nell'*Aufbau*, Carnap ne abbandona progressivamente il riduzionismo di stampo fenomenistico (o meglio "fenomenologico"), aprendo al fisicalismo di Neurath. Nel 1934 pubblica nella collana "Einheitswissenschaft" (che all'epoca dirige insieme allo stesso Neurath, a Frank e a Hahn) *Die Aufgabe der Wissenschaftslogik*, di cui è riportata qui un'ampia selezione, e soprattutto la monumentale *Logische Syntax der Sprache*, dove, generalizzando l'approccio metamatematico di David Hilbert (1862-1943) e avvalendosi del metodo di aritmetizzazione delineato da Kurt Gödel (1906-1978) nella celebre memoria del 1931, afferma la riducibilità della "teoria" o "logica della scienza" a una "sintassi logica" del linguaggio scientifico che, formulabile nei termini di quello stesso linguaggio, sia in grado di determinarne le regole di "formazione" e di "trasformazione". In questo contesto egli introduce il "principio di tolleranza" o "della convenzionalità delle forme linguistiche" ("il nostro compito non è stabilire proibizioni, ma giungere a convenzioni [...] Non ci sono morali in logica. Ognuno è libero di costruirsi come vuole la propria logica, cioè la sua forma di linguaggio. La sola cosa che gli si chiede [...] è di dare regole sintattiche anziché argomenti filosofici"), nella convinzione che in tal modo si possano disinnescare diatribe come quelle relative ai fondamenti della matematica (per esempio, quella tra intuizionisti e logicisti, al cui punto di vista Carnap aveva inizialmente aderito) o i fondamenti delle scienze empiriche (per esempio, la stessa contrapposizione tra "costituzione" fenomenica e fisicalista).

Trasferendosi negli Stati Uniti (1935) Carnap rivede i propri presupposti teorici, offrendo un buon esempio di quello che è stato in seguito chiamato il "processo di liberalizzazione dell'empirismo". Concedendo molto al punto di vista di Neurath (e qualcosa anche a quello di Popper), riconosce che gli stessi enunciati osservativi sono *ipotesici e rivedibili*; abbandona la verificabilità come criterio di significanza empirica e attenua sempre più

la richiesta che i termini teorici siano riducibili a termini osservativi (vedi in particolare il suo "Testability and Meaning", 1936). In seguito concentra la sua attenzione sulla semantica di Alfred Tarski (1902-1983), e in *Introduction to Semantics*, così come in *Formalization of Logic* (1943), cerca di distinguere tra verità di fatto e verità logiche, per definire in termini di verità le nozioni chiave della logica stessa. La collaborazione con Charles Morris (1901-1979) lo porta a considerare tre ambiti distinti all'interno della teoria del linguaggio (o semiotica): la sintassi (dove ci si concentra sulle "relazioni tra le espressioni"), la semantica (dove si analizzano "le espressioni e i loro designati") e la pragmatica (che tratta del linguaggio in riferimento a colui che lo "parla" o più in generale lo "usa"). Un tempo sostenitore della distinzione analitico/sintetico, ne discute ora con Carl Gustav Hempel e con Willard Van Orman Quine. Riprende anche il problema della giustificazione dell'induzione e quello dei fondamenti della probabilità. In particolare, in *Logical Foundations of Probability* (1950) analizza la nozione di "inferenza induttiva" mirante a fissare i gradi di conferma (vedi pp. 280-281). La sua concezione della probabilità come "relazione logica" tra enunciati attinge a idee di John Maynard Keynes e del primo Wittgenstein, ma è stato anche autorevolmente sostenuto che il nucleo essenziale del suo programma si può ricostruire nel contesto della cosiddetta concezione soggettivistica della probabilità (Frank Ramsey, Bruno de Finetti, Leonard J. Savage ecc.).

Le pagine che seguono sono tratte da R. Carnap, *Die Aufgabe der Wissenschaftslogik*, Gerold, Wien 1934, ora anche in J. Schulte e B. McGinness (a cura di), *Einheitswissenschaft*, Suhrkamp, Frankfurt a.M. 1992, pp. 90-117.

Di Carnap si vedano anche: *La costruzione logica del mondo e Pseudoproblemi nella filosofia* (1928), tr. it. UTET, Torino 1997; *La sintassi logica del linguaggio* (1934), tr. it. Silva, Milano 1971; "Scienza formale e scienza reale" (1935), tr. it. in E. Paci (a cura di), *Il pensiero scientifico contemporaneo*, Sansoni, Firenze 1950; *Logical Foundations of Probability*, Chicago University Press, Chicago 1950; *I fondamenti di logica e matematica* (1939), tr. it. a cura di G. Preti, Paravia, Torino 1956; *I fondamenti filosofici della scienza*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1971; *Tolleranza e logica. Autobiografia intellettuale*, tr. it. a cura di A. Arrosi, il Saggiatore, Milano 1978; *Analiticità, significanza, induzione*, tr. it. a cura di A. Meotti e M. Mondadori, il Mulino, Bologna 1971; *Significato e necessità*, tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1976.

Per approfondire: F. Barone, *Rudolf Carnap*, Edizioni di filosofia, Torino 1953; R.C. Buck e R.S. Cohen (a cura di), *psa 1970. In Memory of Rudolf Carnap*, Reidel, Dordrecht 1971; R. Cirea, *Carnap and the Vienna Circle. Empiricism and Logical Syntax*, Rodopi, Amsterdam-Atalanta 1994; M. Claaveln, "Quine contre Carnap. La polémique sur l'analyticité et sa portée", in *Revue Internationale de Philosophie*, 37 (1983), pp. 69-82; G.G. Grangeter, "Le problème de la Construction logique du monde", in *Revue Internationale de Philosophie*, 37 (1983), pp. 5-36; K. Heilig, "Carnap and de Fi-

neti on Beis and the Probability of Singular Events", in *British Journal for the Philosophy of Science*, 29 (1978), pp. 325-347; J. Hintikka (a cura di), *Rudolf Carnap, Logical Empiricist*, Reidel, Dordrecht 1975; M. Meyers, "Métaphysique et néopositivisme: Carnap, Heidegger et Valéry", in *Revue Internationale de Philosophie*, 37 (1983), pp. 93-112; A. Peruzzi, "Significato e necessità in Carnap", in *Rivista critica di storia della filosofia*, 36 (1981), pp. 292-315; A. Richardson, *Carnap's Construction of the World. The Aufbau and the Emergence of Logical Empiricism*, Cambridge University Press, Cambridge 1998; M. Santambrogio, "Costruzione e teoria del significato: da Carnap a Hintikka", in *Lingua e stile*, 10 (1975), pp. 405-438; P.A. Schilpp (a cura di), *La filosofia di Rudolf Carnap*, tr. it. il Saggiatore, 2 voll., Milano 1974.



Mentre la metafisica pretende di occuparsi dei "fondamenti ultimi", della "vera essenza" delle cose, la logica della scienza si tiene lontana dalle cose. Tutto quello che delle cose e dei fenomeni può essere detto spetterà alle singole scienze formularlo, e nulla potrà essere detto di "più elevato". La scienza è un insieme ben ordinato di enunciati, ed è questo insieme che rappresenta l'oggetto della logica della scienza. Tutto quello che è da dire degli organismi e dei fenomeni organici è compito della biologia, scienza sperimentale, esprimerlo; non vi sono, in aggiunta, degli enunciati filosofici che verterono su tali fenomeni, degli enunciati di "filosofia naturale" relativi alla vita. Di contro, si può certo intraprendere uno studio logico circa la costituzione dei concetti, delle ipotesi e delle teorie della biologia; e questo è di competenza della logica della scienza.

Ecco qualche esempio delle questioni di cui essa deve trattare. Il principio della costanza della velocità della luce nella relatività è una convenzione o l'espressione di un fatto? La teoria generale della relatività presenta una contraddizione logica? Come si possono definire i macroconcetti della fisica (temperatura, densità, velocità del suono ecc.) sulla base dei microconcetti (campo elettromagnetico, campo gravitazionale, elettroni ecc.)? La teoria T_2 è compatibile con la teoria T_1 ? Se sono compatibili tra loro, T_2 è, per sua costituzione, contenuta in T_1 ? Oppure il suo contenuto oltrepassa quello di T_1 ? In che cosa consiste ciò che è in T_2 senza

essere in T_1 ? Può il concetto C_1 rapportarsi ai concetti C_2 , C_3 , ecc.? I concetti C_1 e C_2 , le cui definizioni risultano diverse, hanno identico significato? Si può almeno, sulla base delle leggi naturali, introdurre l'uno sempre al posto dell'altro? Gli enunciati E_1 e E_2 (diversi nella loro formulazione) hanno o no lo stesso senso? E_2 è conseguenza di E_1 , per necessità logica? O deriva da essa per mezzo di leggi naturali? Che cosa si deve intendere per legge naturale? Il contenuto di tale legge oltrepassa il contenuto degli enunciati osservativi che hanno dato luogo alla sua formulazione? Qual è il senso degli enunciati probabilistici? La nozione di "probabilità" è equivalente a quella di "frequenza relativa"?

Quando qui ci si interroga sul "senso" degli enunciati o sul "significato" di un concetto, non lo si fa dal punto di vista psicologico. Non ci si interroga sulle rappresentazioni o idee da associare a un dato enunciato o a un dato concetto; poiché richiede una risposta sperimentale, tale questione psicologica non potrà ricevere una soluzione generale; la risposta dipenderà dagli individui consultati e dalle circostanze del caso. È del significato *logico* che ci occupiamo. Ma non ricadiamo così nelle speculazioni filosofiche circa un punto di vista "logico" opposto a quello psicologico? Di che genere sono gli enunciati che rispondono a questioni logiche analoghe a quelle di cui abbiamo dato qualche esempio? Noi dividiamo l'opinione di Hume per cui nella scienza, oltre alle tautologie logico-matematiche (giudizi analitici), non vi sono che gli enunciati sperimentali delle scienze reali. Si tratta di un punto critico della nostra concezione, cui gli avversari reagiscono obiettando che se ogni enunciato che non appartiene né alla matematica né alla scienza empirica è privo di senso, allora lo sono pure le nostre dissertazioni. A dire il vero, anche molti di coloro che come noi rifiutano ogni metafisica e lavorano sul terreno della logica della scienza sono dell'avviso che gli enunciati di questo dominio non abbiano significato più di quelli della metafisica. Contro questo modo di vedere le cose noi sosteneremo che *gli enunciati della logica della scienza sono enunciati della sintassi logica del linguaggio*. Rientrano nei limiti fissati da Hume, poiché [...] la sintassi logica del linguaggio non è altro che matematica del linguaggio.

Per *sintassi logica* di un qualsivoglia linguaggio intendiamo la teoria delle forme degli enunciati e delle altre strutture linguisti-

che di tale linguaggio. Ci occupiamo di *forme*; in altri termini: lasciamo da parte il significato dell'enunciato, al pari del senso delle parole che lo compongono; di contro, le parole sono ripartite in categorie sintattiche e, nell'esame di un dato enunciato, non studiamo che il tipo di parole impiegate e i modi della loro successione. La sintassi logica non è altro che lo sviluppo delle conseguenze analitiche che risultano dalle regole sintattiche del linguaggio in questione. Queste regole sono di due tipi. Le *regole di formazione* indicano come gli enunciati possano essere costruiti con parole o altri simboli linguistici. Già la grammatica offre delle regole di formazione; ma quelle della sintassi logica sono diverse in quanto sono puramente formali, mentre quelle grammaticali tengono spesso conto del significato delle parole (per esempio: "se un sostantivo indica una persona di sesso femminile, una regione o un'imbarcazione..."). Le regole sintattiche del secondo tipo sono le *regole di trasformazione del linguaggio*. Stabiliscono se un enunciato possa essere derivato da uno o più enunciati diversi, qualora questi soddisfino determinate condizioni, le quali sono riferite soltanto alla forma degli enunciati. Le regole di trasformazione corrispondono pressappoco a quelle che in logica sono dette *regole d'inferenza*; la differenza consiste nel fatto che, nella sintassi logica, le regole non si rivolgono (come avviene per i logici di orientamento psicologico) a giudizi considerati come atti della coscienza o contenuti di atti del genere, ma a enunciati considerati come formazioni linguistiche. Le regole di trasformazione debbono essere a loro volta rigorosamente formali; nella logica tradizionale tale esigenza non sempre è soddisfatta, anche se la sua storia manifesta in maniera sempre più chiara la tendenza a questo rigoroso carattere formale, ossia all'eliminazione di ogni riferimento al significato. Soltanto imitando il metodo simbolico della matematica la nuova logica ha potuto tradurre le proprie regole in un formalismo rigorosamente puro. [...]

Un enunciato che si ottiene a partire da altri enunciati dati per applicazione, ripetuta se occorre, di regole di trasformazione è detto loro *conseguenza*. La nozione di "conseguenza" è interamente formale, poiché le regole di trasformazione non hanno alcun rapporto con il significato. Tale nozione permette di formulare nuove definizioni sintattiche; eccone degli esempi improntati all'applicazione dell'analisi logica agli enunciati delle scienze. Di-

ciamo *analitico* (o *tautologico*) un enunciato quando è conseguenza di ogni enunciato, se dunque esso è vero quale che sia il suo significato. Diremo *contraddittorio* un enunciato se ogni enunciato del linguaggio ne è conseguenza. Un enunciato che non è né analitico né contraddittorio è detto *sintetico*. [...] Gli enunciati sintetici sono quelle espressioni che nel linguaggio tradizionale sono dette "asserzioni sulla realtà"; gli enunciati delle scienze empiriche, che si tratti di leggi generali o di enunciati concreti su singole cose o su fenomeni particolari, sono sintetici; essi costituiscono il nucleo della scienza. Gli enunciati della logica e della matematica sono analitici. Considerati dal punto di vista dello scopo perseguito dalla scienza, essi non servono che a rendere più facili le operazioni con gli enunciati sintetici. Si potrebbe costruire un linguaggio scientifico che contenga unicamente enunciati sintetici; non avremmo né enunciati logici né enunciati matematici; l'intera scienza empirica sarebbe esprimibile senza pregiudizio alcuno. Ad agire diversamente ci spingono unicamente motivi di semplificazione pratica; è per questi che si sono introdotti enunciati analitici quali quelli che abbiamo indicato negli esempi e altri ancora, meno correnti, il cui carattere analitico non si riconosce di primo acchito. In quest'ottica la matematica è un capitolo della logica, quello degli enunciati logici in cui intervengono simboli numerici, variabili riferite a numeri, o espressioni di genere analogo, per esempio " $2 + 2 = 4$ ". [...]

Se dal punto di vista logico (da non confondere con quello psicologico) ci si interroga circa il contenuto o il *senso* di un dato enunciato E , è solo per chiedersi: di che cosa veniamo a conoscenza con E ? Ossia: quali enunciati risultano da E , senza però essere conseguenze di un enunciato qualsiasi e quindi privi della possibilità di dire alcunché? Adotteremo la seguente definizione: il *contenuto* di un enunciato E è la classe delle conseguenze di E che non sono analitiche.

La nozione di "contenuto" è una delle nozioni sintattiche più importanti. I contenuti degli enunciati sono caratterizzati dai loro rapporti logici e dal loro ruolo nel sistema della scienza. Il contenuto di un enunciato analitico è nullo; quello di un enunciato contraddittorio è il contenuto globale, ossia la classe di tutti gli enunciati non analitici del linguaggio in questione. Il contenuto di un enunciato sintetico è una parte (in senso proprio) del contenuto

globale. Inoltre il contenuto di un enunciato è compreso nel contenuto di un altro se e solo se il primo enunciato è una conseguenza del secondo. Gli enunciati che hanno lo stesso contenuto affermano la stessa cosa, anche se presentano forme molto diverse.

Come l'uguaglianza di senso di due *enunciati* è formalmente concepita nella nozione di "uguaglianza di contenuto", così possiamo concepire formalmente anche l'uguaglianza di significato di due *espressioni* (due parole, per esempio). Essa sarà valida per due espressioni se sostituendo l'una con l'altra non cambia in alcun caso il senso, ossia il contenuto degli enunciati. Diamo dunque la seguente definizione: due espressioni sono *sinonime* se, in primo luogo, esse sono del medesimo genere (se in un enunciato sostituiamo l'una con l'altra abbiamo sempre un enunciato) e se, in secondo luogo, l'enunciato che otteniamo mediante questa sostituzione è contentutisticamente uguale a quello di partenza.

La costruzione della sintassi di un linguaggio consiste per l'essenziale in una serie di definizioni di concetti sintattici. Anche le regole sintattiche rientrano nelle definizioni. Infatti, le regole di formazione altro non sono che la definizione del concetto di "enunciato", mentre le regole di trasformazione costituiscono la definizione del concetto di "conseguenza immediata". A queste due definizioni iniziali possono essere connesse definizioni di altri concetti sintattici (per esempio: "enunciato esistenziale", "conseguenza", "analitico", "contenuto" ecc.). L'intera sintassi di una qualunque lingua consiste di enunciati: di definizioni e di altri enunciati analitici che poggiano su tali definizioni. A loro volta gli enunciati della sintassi devono essere espressi in un linguaggio; chiameremo questo linguaggio linguaggio sintattico, e linguaggio-oggetto il linguaggio del quale viene esposta la sintassi. La sintassi tratta delle forme dei costrutti linguistici e dunque di determinate combinazioni di certi elementi, i segni linguistici; e ciò può essere fatto per mezzo dei concetti matematici sviluppati nella combinatoria o nell'aritmetica. La *sintassi* non è che *matematica delle forme linguistiche*. [...]

In precedenza abbiamo sollevato la questione del carattere degli enunciati della logica della scienza. Mostriamo ora che essi sono enunciati della sintassi, nel senso indicato di una teoria formale delle forme linguistiche. Questa interpretazione è immediata per quanto concerne gli enunciati della logica della scienza, le

considerazioni e i problemi che trattano di enunciati e concetti (in un dominio scientifico qualsiasi) e delle loro relazioni logiche. Ma vi sono molti enunciati e questioni in logica della scienza la cui formulazione usuale dà l'impressione che essi riguardino cose ben diverse dagli elementi del linguaggio. Essi sembrano trattare, per esempio, di numeri, di proprietà di numeri, di funzioni matematiche, di spazio, di tempo, del rapporto causale tra due eventi, di relazioni tra cose e impressioni sensibili, del rapporto tra un "processo psichico" e un concomitante processo nel cervello, di certi microfenomeni fisici, all'interno di un atomo per esempio, della loro possibile conoscenza e della loro indeterminazione, della possibilità o impossibilità di certi stati fisici, della necessità o della casualità di certi eventi ecc. Tuttavia, un esame più attento mostra che enunciati di questo genere si riferiscono solo apparentemente a oggetti esterni al linguaggio: li si può tradurre in enunciati che trattano di proprietà formali, ossia in enunciati sintattici. Di frequente si incontrano nella logica della scienza enunciati che trattano sì di elementi del linguaggio, ma sembrano non avere a che fare con le loro proprietà formali, occupandosi piuttosto del significato delle parole, del senso degli enunciati; vedremo che anche questi enunciati possono essere tradotti in enunciati formali, sintattici.

Distinguiamo tre specie di enunciati:

I. *Enunciati effettivamente su oggetti*. [Si riferiscono realmente, e non soltanto in apparenza, a oggetti effettivamente esterni al linguaggio.] Esempio: "la rosa è rossa".

II. *Enunciati pseudooggettivi o enunciati che appartengono al modo materiale di parlare*. [Sembrano riferirsi a oggetti esterni al linguaggio, per esempio alla rosa; in realtà, trattano della denominazione linguistica di questo oggetto, per esempio della parola "rosa".] Esempio: "la rosa è una cosa".

III. *Enunciati sintattici o enunciati che appartengono al modo formale di parlare*. [Trattano di un elemento del linguaggio.] Esempio: "la parola 'rosa' è simbolo di una 'cosa'".

Le indicazioni tra parentesi quadre mancano di precisione; una definizione più esatta è la seguente: un enunciato che attribuisce a un oggetto una certa proprietà Q_1 appartiene al modo di parlare materiale se esiste per questa proprietà Q_1 una proprietà Q_2 diversa, ma sintatticamente parallela a essa. Per proprietà Q_2 sin-

taticamente parallela a Q_1 intendiamo quanto segue: Q_2 conviene a una *denominazione* di un oggetto se e solo se la qualità Q_1 conviene all'oggetto. Negli esempi sopra citati, "essere denominazione di cosa" è una proprietà sintattica parallela alla proprietà "essere una cosa", poiché se e solo se una cosa è una cosa la sua denominazione è una denominazione di cosa. È per questo che l'enunciato "la rosa è una cosa" fa parte del modo materiale di parlare. Lo si può tradurre nel parallelo "rosa" è una denominazione di cosa" del modo formale di parlare. Di contro, non vi è alcuna proprietà sintattica suscettibile di essere parallela alla proprietà "rosso" e di conseguenza di essere attribuita a tutte, e solo a loro, le denominazioni di cose rosse; infatti, non si può evincere dal segno linguistico (per esempio, "rosa", "Luna") se una cosa sia o no rossa. L'enunciato "la rosa è rossa" non appartiene dunque al modo materiale di parlare; è un enunciato puramente oggettivo. [...]

Gli enunciati del modo materiale di parlare danno l'illusione di un riferimento all'oggetto quando questo di fatto non sussiste. Da qui alcune confusioni, pseudoproblemi e anche contraddizioni. Perciò è prudente evitarli il più possibile, o almeno nei passaggi decisivi; si preferirà loro gli enunciati nel modo formale di parlare, il che eliminerà non pochi degli pseudoproblemi filosofici. Enunciati del tipo "[75 è un numero]", per esempio, conducono facilmente a pseudogestioni come "che cosa sono davvero i numeri?". Di contro, la questione sensata è la seguente: "Quali sono le regole sintattiche per la *denominazione dei numeri*?". Lo stesso vale per gli pseudoproblemi che toccano l'essenza del *tempo*, dello *spazio*, delle *cose*, dei *contenuti di coscienza*. Al loro posto figurano le questioni sul carattere sintattico delle denominazioni corrispondenti, vale a dire delle coordinate temporali ecc. [...]

Oggi nella logica della scienza si lavora su diversi complessi di problemi, e appare sempre più chiaro che le questioni affrontate in tale ambito siano di natura sintattica. [...] Le questioni di logica della scienza relative alla *fisica* riguardano invece il carattere sintattico dei concetti e delle leggi in fisica. Tra gli argomenti più importanti vi è quello delle *relazioni sintattiche tra i diversi linguaggi parziali dell'unitario linguaggio scientifico*. Si tratta della versione formale di quei problemi che tradizionalmente si è soliti designare come problemi delle relazioni tra i diversi ambiti di oggetti (o in linguaggio più filosofico, tra le diverse regioni dell'esse-

re). Occorre perciò gettare anzitutto un ponte tra la fisica e la biologia da un lato, e la psicologia e la sociologia dall'altro. Nello studio delle relazioni sintattiche tra il linguaggio della biologia e il linguaggio della fisica, bisogna distinguere a seconda che si tratti della relazione tra i concetti o della relazione tra gli enunciati, e in particolare tra gli enunciati spazio-temporali generali, le cosiddette leggi.

La prima questione sarà allora: "i concetti del linguaggio parziale della biologia possono essere inseriti nel linguaggio della fisica?". A tale questione si può rispondere affermativamente. I concetti biologici si riferiscono a stati e processi corporei, dunque all'ambito spazio-temporale; di fatto, questi concetti sono collegati per mezzo di leggi a concetti fisici e, di conseguenza, a concetti osservativi. Ogni enunciato del linguaggio parziale della biologia può in tal modo essere sottoposto a controllo empirico; da essi e da altri enunciati scientifici già noti si possono derivare enunciati aventi la forma di enunciati osservativi, i quali saranno confrontati con altri enunciati osservativi. La seconda questione sarà: "Le leggi biologiche hanno lo stesso *carattere* delle leggi fisiche?". La risposta affermativa data alla prima questione implica una seconda risposta affermativa. Ma tale questione non può essere confusa con una terza: "Le leggi biologiche possono essere *derivate* dalle leggi fisiche in senso stretto, ossia da quelle leggi che sono necessarie per le spiegazioni di quanto avviene nei corpi inorganici?". Allo stato attuale della ricerca biologica non è possibile rispondere a questa domanda, che richiede ancora numerose indagini sperimentali. La tesi del *vitalismo*, compresa la sua versione più recente (neovitalismo), contiene pseudocconcetti. Se ci si sforza di individuare il nucleo puramente scientifico del vitalismo, la terza domanda avrà una risposta negativa. Tuttavia, le pretese argomentazioni rigorose addotte a sostegno di questa risposta sono del tutto inadeguate e non sembrano sufficienti per prendere una decisione definitiva.

Questioni analoghe possono essere poste per quanto concerne la possibilità di gettare un ponte tra *linguaggio psicologico* e *linguaggio fisico*. "I concetti del linguaggio parziale della psicologia possono essere inseriti nel linguaggio della fisica?" La tesi del *finalismo* da noi professata risponde di sì, e per la stessa ragione usata nel caso della biologia. Se per qualsiasi concetto psicologico

non vi fossero leggi grazie alle quali esso viene collegato a un concetto fisico, un enunciato che sulla base di esso afferma qualcosa di una persona non sarebbe, per natura, controllabile da altre persone e, di conseguenza, sarebbe dal punto di vista scientifico inutilizzabile. Da qui deriva anche la risposta affermativa alla seconda questione: "Le leggi psicologiche possono essere inserite nel linguaggio della fisica e hanno lo stesso *carattere* delle leggi fisiche, nell'accezione ristretta sopra ricordata?". Di nuovo, però, non bisogna confondere tale questione con la terza: "Le leggi psicologiche possono essere derivate dalle leggi fisiche in senso stretto, o perlomeno dalle leggi biologiche?". Quest'ultima questione è ancor oggi aperta. Siamo, infatti, ancora ben lontani dall'aver compiuto una simile derivazione: d'altro canto, non si può però nemmeno dimostrare o anche solo sostenere in modo plausibile che una derivazione del genere non possa mai essere compiuta o che addirittura vada esclusa in linea di principio. Lo stesso discorso vale per il linguaggio parziale della *sociologia* i cui concetti ed enunciati sono per il fisicalismo inscrivibili nel linguaggio della fisica; ma anche qui non possiamo dire se riusciremo a derivare le leggi sociologiche da quelle fisiche in senso stretto, o da quelle biologiche, oppure soltanto da quelle psicologiche.

Uno dei compiti più importanti che incombono sulla logica della scienza sarà la realizzazione di ciò che il fisicalismo ritiene possibile: indicare le regole sintattiche che consentano di inserire i diversi concetti biologici, psicologici e sociologici nel linguaggio della fisica. Questa analisi dei concetti dei linguaggi parziali porterà alla creazione di un *linguaggio unitario* che permetterà di superare la divisione che attualmente regna nella scienza. Essa ha origini mitiche, che ancora traspaiono dai comportamenti degli scienziati odierni. I concetti centrali cui ci si richiama nella suddivisione dei diversi ambiti scientifici sono ancor oggi avvolti da una nube di mistero: i concetti di "vita", di "anima" (altri più prudenti parlano di "fenomeni spirituali", "psichici", "coscienza"), di "spirito oggettivo" (o "norme", "spirito pubblico") hanno tutta l'apparenza d'appartenere a una sfera più "elevata" in sé, di contro alla sfera "inferiore" della "mera materia". L'origine di questo modo di vedere le cose risale chiaramente a un'epoca in cui la conoscenza "umana" era separata da quella "divina", le cose "terrestri" dalle "celesti". Ma se lasciamo da parte i sentimenti mitici e consideriamo le cose

da un punto di vista davvero scientifico notiamo che le uniche differenze sono di carattere empirico: nel primo caso ("vita") si tratta della differenza tra processi inorganici e organici, dove questi ultimi si manifestano tramite certe caratteristiche suscettibili di controllo empirico, che non comporta una rigorosa delimitazione. Volendo possiamo chiamare "viventi" i processi e i corpi organici, a patto di non intendere con quel termine qualcosa di più delle caratteristiche empiriche indicate. Nel caso di "anima" si tratta unicamente di mettere in evidenza una classe particolare di processi organici; la loro delimitazione non è univoca; sovente è compiuta in maniera del tutto diversa, e già questo parla a sfavore del significato profondo di una delimitazione. Nella delimitazione più ampia si attribuiscono a questa classe tutti i processi di un corpo organizzato che sono in un rapporto particolarmente stretto, da un lato, con quelli inerenti agli organi di senso e, dall'altro, con quelli propri degli organi di movimento (in tal modo tutti i fenomeni organici si trovano inclusi). Una delimitazione più ristretta si ha se ci si attiene allo stretto legame con un sistema nervoso o a uno di questi sistemi. Se si adottano i limiti più ristretti – i cosiddetti eventi della "coscienza" in senso stretto – si terrà conto soltanto dei processi di un organismo (più esattamente, di un sistema nervoso) per i quali vi è una disposizione alle reazioni verbali facilmente stimolabile. Anche in questo non avremo nulla da obiettare alla definizione e allo studio di una classe di processi così delimitata. Ma le ragioni di tale delimitazione sono di natura pratica: per esempio, la divisione del lavoro. Non avremo nulla in contrario se si denominano i processi di questo tipo servendosi di parole come "animato", "psichico", a patto che queste espressioni non si trovino, in virtù della loro stessa origine mitica, sovraccaricate di rappresentazioni e sentimenti alquanto inopportuni. Nel caso dello "spirito", si tratta di processi che si verificano negli organismi e in particolare negli uomini: l'indagine riguarda qui l'interazione determinata dalle relazioni di stimolo e reazione tra gli individui di un gruppo, sia tra loro sia rispetto a quelli di un altro gruppo.

Non è difficile vedere che in tutti i casi esaminati le delimitazioni risultano molto meno nette di quelle presenti nella fisica, per esempio tra gravitazione ed elettromagnetismo. Che si attribuisca a quelle distinzioni un'enorme importanza, che le si carichi come da sempre è avvenuto dei più grandi problemi filosofici, e che ce

ne si serva nelle ricerche specialistiche: tutto ciò dipende unicamente dalle differenze notevoli che esistono sul piano emotivo. Lo stesso discorso non può essere fatto per la fisica. Con ciò non si dice ancora nulla circa gli effetti desiderati o meno che le diverse disposizioni emotive hanno sulla vita pratica. Piuttosto, si vuol solo far notare che esse sono di intralcio alla scienza, poiché ostacolano la comprensione del carattere unitario dei concetti scientifici.

Ma quando il fisicalismo si sarà sbarazzato di un simile ostacolo, *l'analisi della logica della scienza dei concetti* dei diversi ambiti scientifici farà emergere sempre più chiaramente la loro affinità e la loro connessione reciproca, costituendo così uno *strumento per la costruzione della scienza unitaria*.

Otto Neurath

*Enunciati protocollari, controlli empirici
ed enciclopedie*

“Per avere un ordine di vita come obiettivo bisogna darne una qualche raffigurazione. Diamo utopie quelle raffigurazioni di condizioni di vita non offerte dalla storia. [...] Oggi che il socialismo è alle porte, è di grande rilevanza capire quali siano i lineamenti di questo nuovo ordine di vita che noi vogliamo portare all'esistenza.” Così scrive il viennese Otto Neurath (1882-1945) in un articolo (“Wirtschaftsplan, Planwirtschaft, Länderverfassung und Völkerordnung”, 1920) significativamente pubblicato sulla rivista *Der Kampf*. Conseguita la libera docenza in economia politica a Heidelbergh, nel 1918 è chiamato a dirigere un museo sull'economia di guerra. Esponente socialista di primo piano, nel 1919 è presidente dell'ufficio di pianificazione della Repubblica sovietica di Baviera. Fallito l'esperimento di realizzare l'“utopia”, è agli arresti. Tornato a Vienna, riprende la militanza politica ricoprendo varie cariche pubbliche. Dal 1924 al 1934 dirige un museo sociale ed economico. Riavvia i contatti con Frank e Hahn (vedi p. 199) ed entra in relazione con Schlick e Carnap.

Nel 1929 è il principale estensore del manifesto del Circolo di Vienna. Temperamento critico e polemico, con il volume *Empirische Soziologie* (pubblicato a Vienna) e con l'articolo “Physikalismus” (uscito su *Scientia*) opera nel 1931 la svolta che segnerà una rottura all'interno del Circolo. Nel 1934 è in Olanda, dove istituisce e dirige la Fondazione internazionale per l'educazione visiva, impegnandosi nella ricerca di un linguaggio visivo (*Isotype*) analogo a quello fisicalistico. Convinto assertore dell'unità della scienza, con Carnap, Frank e Hahn aveva fondato a Vienna la collana “Einheitswissenschaft”. Attraverso simposi e convegni internazionali (tra i quali ricordiamo quelli tenuti a Parigi nel 1935 e a Copenhagen nel 1936), promuove l'*International Encyclopedia of Unified Science*, che dirigerà insieme a Carnap e Morris (sarà pubblicata a partire dal 1938 a Chicago). Nel 1940 ripara a Oxford, ove conclude i suoi giorni. L'originario impegno politico non deve far dimenticare che, pur accettando i lineamenti generali dell'economia marxiana, Neurath inquadrerà la propria riflessione socioeconomica in una prospettiva (in senso lato) comportamentistica che rispon-

de a un'istanza di controllabilità assente, a suo dire, in altri approcci allora diffusi, per esempio in quello di Max Weber (1864-1920). Finisce per adottare una posizione pluralistica, conforme del resto al suo orientamento più generale.

Nell'esporre le tesi del fisicoismo Neurath prende le distanze sia dalla concezione wittgensteiniana della filosofia come analisi logica del linguaggio, sia dal criterio schlickiano di significanza, considerando ingiustificato il rinvio, da entrambi presupposto, a una realtà extralinguistica: "Noi non possiamo in quanto esseri parlanti prendere posizione in qualche modo fuori del parlare, e poi essere al contempo accusatori, accusati e giudici". In altri termini, il linguaggio è di per sé intrascendibile, e ciò appare chiaro non appena lo si intenda non come "immagine" o "rappresentazione", ma come "fatto fisico" che, in quanto tale, rientra nel genere di fatti di cui si occupa la scienza: "la teoria del linguaggio può essere totalmente unita alla dottrina dei processi fisici; si rimane sempre nello stesso campo". E in questo medesimo campo si muove l'analisi filosofica, che non può dunque pretendere di fondare una teoria della conoscenza su basi diverse da quelle fisiche. Si tratta cioè di comprendere che è la scienza a rivelare la sua stessa "possibilità", e che essa consiste essenzialmente di "predizioni" la cui base empirica non deve essere ricercata in qualche "dato" dell'esperienza, bensì in "enunciati osservativi" appartenenti a un linguaggio che per natura è "intenzionale" e "intersoggettivo". Sicché, scrive ancora Neurath, "non vi è altro concetto di verità per la scienza" che quello della "coerenza": quando "si formula un enunciato, esso viene confrontato con la totalità degli enunciati esistenti. Se concorda con questi è aggiunto a essi; altrimenti, è caratterizzato come 'non vero' e abbandonato", anche se non bisogna escludere la possibilità che a mutare sia "l'attuale complesso di enunciati della scienza in modo che il nuovo enunciato possa esservi inserito".

Tuttavia, la riduzione del linguaggio a fatto fisico porta con sé anche la possibilità dell'unificazione delle varie discipline, alla quale per Neurath si perviene tramite l'universalizzazione del linguaggio della fisica, il solo, a suo dire, che consenta di realizzare l'unità delle scienze. Polemizzando con il "sistema della costituzione" delineato nell'*Aufbau* da Carnap (e da questi peraltro riquilibrato dopo il 1931 in termini fisicalistici, sia pure non identici al fisicalismo neurathiano, vedi p. 218), Neurath ritiene che l'assunzione dei soli enunciati formulabili in termini fisici, ossia spazio-temporali, quali enunciati scientificamente accettabili e cognitivamente rilevanti, rappresenti il modo migliore per farla finita con ogni forma di metafisica (compresa quella agente nelle pieghe della stessa scienza) e per ricondurre al contempo tutte le "leggi" scientifiche ("si tratti di leggi geologiche, chimiche o sociologiche") a "una sola specie d'ordine", ossia alle leggi della fisica.

In gran parte queste tesi sono riprese e precisate da Neurath nel primo dei due brani qui riportati (tratto dall'articolo "Protokollsätze" del 1932-1933). La celebre immagine ("Siamo come marinai che devono riparare la

loro nave in mare aperto...") chiarisce che per Neurath nemmeno gli enunciati protocollari sono esenti dalla rivedibilità propria di tutti gli enunciati scientifici. Riferendo esplicitamente le parole di un enunciato protocollare alla persona che lo redige si concede alla comunità scientifica il diritto di re-in precedenza – alla luce di nuove informazioni acquisite. Come nel caso dello scienziato Kalon che simultaneamente scrive con la sinistra che non c'è nulla nella stanza a parte un tavolo, e con la destra che non c'è nulla nella stanza a parte un uccello. Se la comunità scientifica vuol mantenere la "coerenza" della propria "enciclopedia" non può che eliminare uno o entrambi i protocollari. (L'esempio di Kalon, osserva Donald Gillies, "anticipa in modo curioso alcune scoperte riguardo al cervello diviso".)

Schlick obiettò che l'assunzione della "coerenza" quale criterio della verità scientifica finiva per far cadere in un relativismo incapace di render conto del ruolo decisivo della base empirica, e contrappose ai protocollari neurathiani la propria dottrina delle "constatazioni" (vedi p. 208). Analogamente, Popper, pur apprezzandone l'antipsicologismo, doveva dichiarare nella *Logik der Forschung* (1934) che, non specificando alcuna regola che "limitasse" la possibilità di accettare o cancellare un enunciato protocollare, Neurath "apriva la strada per la quale un qualsiasi sistema arbitrario può andare. Nel secondo dei brani qui riportati egli ribatte che l'empirismo non è meno inficiato del falsificazionismo, il quale accetta il carattere convenzionale degli asseriti della base empirica e troppo insiste sulle decisioni metodologiche, che sole permettono di effettuare i "severi" controlli tanto cari a Popper. Sicché ai *Modell-Systemen*, cioè all'ideale di teorie deduttivamente chiuse, occorre sostituire i *Modell-Enzyklopädien*, sempre aperti a successive integrazioni e cancellazioni (via coerenza).

Le pagine che seguono sono tratte da O. Neurath, "Protokollsätze", in *Erkenntnis*, 3 (1932-1933), pp. 204-214, tr. it. "Proposizioni protocollari", in *Sociologia e neopositivismo*, a cura di G. Sater, Ubaldini, Roma 1968, pp. 55-61; e da O. Neurath, "Pseudorationalismus der Falsifikation", in *Erkenntnis*, 5 (1935), pp. 353-365, tr. it. "Lo pseudorazionalismo della falsificazione", in D. Zolo, *Scienza e politica in Otto Neurath*, Feltrinelli, Milano 1986, pp. 191-198.

Per approfondire: F. Barone, "Il Circolo di Vienna e la polemica sui protocollari", in *Filosofia*, 35 (1984), pp. 3-19; N. Cartwright, J. Cat, L. Fleck e T.E. Uebel (a cura di), *Otto Neurath - Philosophy between Science and Politics*, Cambridge University Press, Cambridge 1996; R. Cubeddu, "Otto Neurath e la filosofia politica del Circolo di Vienna", in *Il pensiero politico*, 17 (1984), pp. 169-206; F. Fisetti, *Neurath contro Popper: Otto Neurath riscoperto*, Dedalo, Bari 1985; P. Jacob, "The Neurath-Schlick Controversy", in *Fundamenta scientiae*, 5 (1984), pp. 351-366; A. Pasquelli, "La sociologia del

neopositivismo", in *Scritti di sociologia e politica in onore di Luigi Sturzo*, Zanichelli, Bologna 1953; T.E. Ûbel (a cura di), *Rediscovering the Forgotten Vienna Circle: Austrian Studies on Otto Neurath and the Vienna Circle*, Kluwer, Dordrecht 1991; Id., *Overcoming Logical Positivism from Within. The Emergence of Neurath's Naturalism in the Vienna Circle's Protocol Sentence Debate*, Rodopi, Amsterdam 1992; J.W.N. Watkins, "O. Neurath", in *The British Journal for the Philosophy of Science*, 25 (1974), pp. 343-352.



Se si vuole riassumere insieme ciò che costituisce la scienza unificata del nostro tempo, è necessario collegare termini del linguaggio comune e termini del linguaggio rigorosamente scientifico poiché nella pratica essi si intersecano. Ci sono dei termini di cui si fa uso solo nel linguaggio comune, altri che compaiono solo nel linguaggio rigorosamente scientifico e altri ancora che compaiono in ambedue i linguaggi. Di conseguenza, in un trattato scientifico concenmente l'intero campo della scienza unificata, non si può che fare uso di uno *slang* comprensivo di termini propri dei due linguaggi indicati.

Noi crediamo che ogni parola del linguaggio comune fisicalistico sia traducibile nei termini del linguaggio rigorosamente scientifico e, parimenti, che i termini del linguaggio rigorosamente scientifico possano anche essere espressi con l'aiuto dei termini del linguaggio comune. Il secondo è un procedimento assai inconsueto e spesso difficile; ma le teorie di Einstein sono in qualche modo esprimibili nel linguaggio dei Bantù, mentre non lo sono quelle di Heidegger, a meno che non si introducano nella lingua dei Bantù quegli stessi abusi linguistici presenti nel tedesco. Il fisico deve essere fondamentalmente in grado di soddisfare la richiesta avanzata da un acuto scrittore e formulata come segue: "Deve essere possibile rendere comprensibile ogni rigorosa dottrina scientifica, nelle sue grandi linee, a un vetturino, nel suo linguaggio".

Il linguaggio rigorosamente scientifico e il linguaggio comune si corrispondono oggi soprattutto nel campo dell'aritmetica. Ma nel sistema del fisicalismo radicale anche l'espressione: "2 più 2 è uguale a 4", che è una tautologia, viene collegata agli enunciati protocollari. Le tautologie sono definite come enunciati i quali, in quanto tautologie, informano solo come stimoli aggiunti a deter-

minati comandi che impongono di compiere una certa azione sotto determinate condizioni. Per esempio, nell'enunciato: "Otto dice a Carlo 'Esci fuori quando la bandiera sventola e quando due volte due è uguale a quattro'", l'aggiunta della tautologia non modifica l'effetto del comando.

Nella scienza unificata, senza con ciò alterarne il carattere di rigorosa scientificità, possiamo fare uso soltanto di uno *slang* universale. Ma dal momento che non c'è ancora un accordo generale, ogni studioso che si occupa di questi problemi deve usare uno *slang* universale nel quale egli stesso abbia introdotto nuovi termini.

Non c'è nessun modo per formulare degli enunciati protocollari puri e definitivamente assunti per veri, come base di partenza della scienza. Non è possibile nessuna *tabula rasa*. Siamo come marinai che devono riparare la loro nave in mare aperto senza poterla smantellare in un bacino per ricostruirla con materiali migliori. Solo i residui metafisici vanno eliminati. Restano sempre, in maggiore o minore misura fra le parti della nave, dei "grumi" linguisticamente indeterminati. Se l'imprecisione si è ridotta da una parte, si corre sempre il rischio di vederla ricomparire più forte da un'altra.

Insegneremo ai bambini lo *slang* universale, depurato dalla metafisica, come linguaggio storicamente dato della scienza unificata. Ogni bambino sarà "istruito" in modo che cominci con uno *slang* universale semplificato per progredire gradualmente verso lo *slang* universale dell'età adulta. In questa prospettiva non ha senso operare una rigida distinzione fra il linguaggio dei bambini e il linguaggio degli adulti. In tale caso si dovrebbero distinguere più *slang* universali; ma in realtà il bambino non impara uno *slang* universale originario dal quale deriverebbe lo *slang* universale dell'età adulta; egli apprende piuttosto uno *slang* universale "più povero" che viene gradualmente completato. L'espressione "boccia di acciaio", per esempio, è impiegata nel linguaggio dei bambini come in quello degli adulti; in questo essa è definita da un enunciato in cui compaiono parole come "raggio" e " π ", mentre nel linguaggio dei bambini è definita da un enunciato formato da termini come "gioco dei birilli", "regalo di zio Rudi", e così via. Ma lo "zio Rudi" non manca neppure nel linguaggio della scienza più rigorosa, poiché in questo ambito la bocca fisica è definita da enunciati protocollari in cui "zio Rudi" compare come l'"osservatore" che percepisce una boccia.

Carnap parla invece di un linguaggio protocollare "originario". Ma le sue osservazioni sul linguaggio protocollare "originario" e sugli enunciati protocollari che "non richiedono verifica", sono solo marginali rispetto ai significativi sviluppi in senso anti-metafisico del suo punto di vista, i cui fondamenti non dipendono dalle considerazioni discordanti che si vengono qui svolgendo. Carnap parla di un "linguaggio primitivo" che viene anche definito come "linguaggio del vissuto" [*Erlebnissprache*] o "linguaggio fenomenale". Nel contempo egli sostiene che "nell'attuale situazione della ricerca non si può risolvere la questione della precisa caratterizzazione di questo linguaggio".

Le considerazioni di Carnap possono indurre dei giovani studiosi a impegnarsi nella ricerca di un siffatto linguaggio protocollare. E ciò li svia facilmente verso la metafisica. Poiché non sempre è possibile eliminare ogni residuo metafisico mediante argomentazioni razionali, è molto importante, per gli studiosi ancora oscillanti, sostenere la tesi del fisicalismo nella sua forma più radicale.

A prescindere dalle tautologie, la scienza unificata consiste di enunciati reali [*Realsätze*]. Tali enunciati si suddividono in:

a) *Enunciati protocollari*

b) *Enunciati non protocollari*.

Gli enunciati protocollari sono enunciati reali che presentano la stessa forma linguistica degli altri enunciati reali, salvo che in essi compare per lo più un nome proprio di persona in connessione ben determinata con altri termini. Un enunciato protocollare completo può, per esempio, suonare così: "Protocollo di Otto alle ore 3 e 17: [Il pensiero-parola di Otto alle ore 3 e 16 era: (Alle ore 3 e 15, nella stanza, un tavolo era percepito da Otto)]. Questo enunciato reale è costruito in modo che dalla "eliminazione delle parentesi" compaiono ulteriori enunciati reali, che però non sono enunciati protocollari, come: "Il pensiero-parola di Otto alle ore 3 e 16 era: (alle ore 3 e 15 nella stanza, un tavolo era percepito da Otto)" e inoltre: "Alle ore 3 e 15, nella stanza, un tavolo era percepito da Otto".

Ciascuno dei termini che compaiono in questi enunciati può essere in linea di principio sostituito da un gruppo di termini del linguaggio rigorosamente scientifico. Al posto di "Otto" si può introdurre un sistema fisicalisticamente determinato e questo sistema fisicalisticamente determinato può ulteriormente essere definito fa-

cendo riferimento alla "posizione" occupata dal nome "Otto" all'interno di un gruppo di nomi formato da "Carlo", "Enrico" e così via. Tutte le parole impiegate nell'enunciato protocollare completo che si è indicato fanno parte dello *slang* universale, o possono essere senz'altro sostituite da parole dello *slang* universale.

Perché un enunciato protocollare sia completo, è essenziale che vi compaia un nome proprio di persona. Enunciati protocollari come quelli indicati da Carnap, e cioè: "Adesso gioia" o: "Adesso un circolo rosso", o anche: "Adesso sul tavolo si trova un dado rosso", non sono completi; in essi manca infatti il nome del percipiente come espressione all'interno delle parentesi più interne. In conformità alle nostre indicazioni per la stesura di un enunciato protocollare, si doveva perlomeno dire: "Otto adesso gioia", "Otto vede adesso un circolo rosso", "Otto vede adesso che sul tavolo si trova un dado rosso"; il che corrisponde, grosso modo, al linguaggio dei bambini. In un enunciato protocollare completo, dunque, l'espressione compresa fra le parentesi più interne è un enunciato che presenta un nome di persona e un termine tratto dal campo dei termini percettivi. In quale misura si faccia uso di termini del linguaggio comune o di termini rigorosamente scientifici, non è particolarmente importante, poiché nell'ambito dello *slang* universale abbiamo una considerevole libertà negli usi linguistici.

L'espressione "pensiero-parola" a ridosso della prima parentesi esterna sembra consigliabile quando si vogliono costruire diversi gruppi di enunciati, per esempio con "termini allucinatori", "termini di sogno" e "termini di realtà"; ma soprattutto è consigliabile quando si vogliono immediatamente discernere gli enunciati falsi. Si può per esempio dire: "Il pensiero-parola di Otto era in realtà: nella stanza solo un uccello era percepito da Otto, ma per fare uno scherzo egli scriveva: nella stanza solo un tavolo era percepito da Otto". Ciò è particolarmente importante per l'analisi che si farà nella prossima sezione di questo articolo in cui si confuta la tesi di Carnap secondo cui gli enunciati protocollari sono enunciati che "non richiedono verifica".

Il processo di trasformazione della scienza consiste nel fatto che gli enunciati in uso durante una certa epoca vengono soppressi nel corso di un'epoca successiva e spesso sostituiti con altri enunciati. Talvolta sopravvivono nel tempo alcune parole, ma la loro definizione viene modificata. *Ogni legge e ogni enunciato fisicalistico del-*

la scienza unificata o di una delle sue scienze reali può subire delle modificazioni; e così anche ogni enunciato protocollare.

Nella scienza unificata ci si adopera per costruire un sistema privo di contraddizioni formato da enunciati protocollari ed enunciati non protocollari (comprese le leggi scientifiche). Quando ci si presenta un nuovo enunciato, lo confrontiamo con il sistema di cui disponiamo e controlliamo se il nuovo enunciato è o non è in contraddizione con quel sistema. Nel caso in cui il nuovo enunciato si riveli contraddittorio rispetto al sistema – per esempio l'enunciato: "In Africa i leoni cantano solo in do maggiore" – si presentano due alternative: eliminare quell'enunciato in quanto non se ne può fare uso ("falso"), ovvero "accettare" l'enunciato e quindi modificare il sistema in modo tale che, accresciuto di esso, il sistema rimanga coerente. Il nuovo enunciato si potrà definire allora "vero".

La sorte di essere eliminato può toccare anche a un enunciato protocollare. Per nessun enunciato esiste un *noti me tangere*, come invece stabilisce Carnap per gli enunciati protocollari. Prendiamo, a questo riguardo, un esempio particolarmente drastico: supponiamo di conoscere uno studioso di nome Kalon capace di scrivere contemporaneamente con tutte e due le mani. Supponiamo che con la mano sinistra scriva: "Protocollo di Kalon alle ore 3 e 17: [I] pensiero-parola di Kalon alle ore 3 e 16 minuti e 30 secondi era: (Alle ore 3 e 16 nella stanza *solo* un tavolo era percepito da Kalon)", mentre con la mano destra: "Protocollo di Kalon alle ore 3 e 17: [II] pensiero-parola di Kalon alle ore 3,16 minuti e 30 secondi era: (Alle ore 3 e 16 nella stanza *solo* un uccello era percepito da Kalon)". Che cosa dobbiamo fare con questi due enunciati protocollari? Naturalmente possiamo fare una affermazione del seguente genere: sul foglio ci sono certi segni formati una volta in un modo e una volta in un altro; ma a riguardo di questi segni sul foglio non può trovare nessuna applicazione il termine "verifica" usato da Carnap. Si può parlare di "verifica" solo in relazione a "enunciati", cioè a sequenze di segni utilizzabili nel contesto di un esame delle reazioni e sistematicamente sostituibili con altri segni. Due enunciati si dicono "equivalenti" in quanto producono eguali reazioni in conseguenza di un determinato contesto reattivo nell'ambito del quale sono da considerarsi come stimoli. Si definiscono altresì come "enunciati" delle sequenze di

"colline di inchiostro sulla carta" e di "vibrazioni d'aria" che, *rispettando determinate condizioni*, sono sostituibili con altre "colline di inchiostro sulla carta" e "vibrazioni d'aria" in modo tale da produrre reazioni eguali.

Due enunciati protocollari reciprocamente contraddittori non sono utilizzabili nel sistema della scienza unificata. Anche quando non siamo in grado di dire quale dei due enunciati sia da escludere, o se siano ambedue da escludere, è certo che non si possono ambedue "verificare", cioè non si possono introdurre nel sistema.

Se in un caso come quello precedente l'enunciato protocollare deve essere fatto cadere, perché mai non dovrebbe avvenire lo stesso quando si manifesta una contraddizione logica fra enunciati protocollari da una parte e un sistema di enunciati protocollari ed enunciati non protocollari (per esempio leggi) dall'altra? Secondo Carnap può avvenire soltanto di essere costretti a modificare degli enunciati non protocollari o delle leggi scientifiche. *Secondo noi è possibile anche l'eliminazione di enunciati protocollari.* [...]

Lo *slang* universale, inteso come lo si è precedentemente descritto, è lo stesso per il bambino e per l'adulto. Esso è anche lo stesso per un eremita e per tutti i componenti una società umana. Nel momento in cui Robinson Crusoe ha posto in relazione ciò che egli stesso ha protocollato ieri e ciò che ha protocollato oggi, cioè nel momento in cui vuole in qualche modo servirsi di una sorta di linguaggio, allora necessariamente si serve di un linguaggio intersoggettivo. Il Robinson Crusoe di ieri e quello di oggi si trovano reciprocamente nel medesimo rapporto in cui stanno Robinson Crusoe e Venerdì. Immaginiamo un uomo che nello stesso tempo abbia perso la memoria e sia diventato cieco. Supponiamo che questi stia di nuovo imparando a leggere e scrivere; le annotazioni da lui scritte in un periodo precedente saranno per quell'uomo, che ora supponiamo stia leggendole con l'aiuto di uno speciale apparecchio, "di un altro", nello stesso modo in cui lo sono quelle appena scritte da un altro individuo. Non diversamente avverrebbe se egli acquistasse coscienza della sua sorte e scrivesse un'autobiografia.

Ciò significa che ogni linguaggio, *come tale*, è "intersoggettivo". I protocolli di un certo minuto possono essere incorporati in quelli del minuto successivo, come i protocolli di A possono essere incorporati nei protocolli di B. *Non ha senso, quindi, parlare di*

un linguaggio privato soggettivo come fa Carnap, e neppure di una congerie di linguaggi protocollari diversi che alla fine possono essere riuniti insieme. Il linguaggio protocollare del Robinson Crusoe di ieri e quello del Robinson Crusoe di oggi sono reciprocamente così diversi e così simili, come i linguaggi protocollari di Robinson e di Venerdì. Se è possibile, sotto determinate condizioni, definire il linguaggio protocollare del Robinson Crusoe di ieri e quello del Robinson Crusoe di oggi come *lo stesso* linguaggio, allora, *ferme restando le stesse condizioni*, anche i linguaggi protocollari di Robinson Crusoe e di Venerdì possono essere considerati come lo stesso linguaggio.

Sebbene Popper sostenga complessivamente delle tesi analoghe [a quelle del Circolo di Vienna] ed eviti perciò un certo tipo di errori, egli si serve tuttavia in qualche modo, come di modelli validi per tutte le scienze empiriche, di teorie facilmente controllabili e costruite mediante puri enunciati. Definendo la forma delle asserzioni base, Popper intende determinare quali sono le asserzioni empiriche, quali sono cioè le asserzioni "falsificabili". Secondo Popper le teorie vengono sottoposte a controllo mediante asserzioni base *previamente* accettate e mantenute fino a prova contraria. Le teorie vengono respinte se queste asserzioni base "corroborano un'ipotesi falsificante". La *falsificazione* è perciò il fondamento dell'intera ulteriore elaborazione popperiana. [...]

Diversamente da Popper, noi ci sforziamo di usare modelli che non permettano neppure di pensare a un ideale di questo tipo. Noi prendiamo le mosse da complessi di enunciati che solo parzialmente sono fra loro connessi in modo sistematico e che inoltre siamo in grado di controllare solo in parte. Al loro interno le teorie convivono con singoli asseriti informativi privi di connessioni teoriche. Mentre uno scienziato lavora sulla base di una parte di questi complessi di enunciati, altre informazioni complementari vengono fornite da altri ricercatori. Ed egli è in linea di principio disposto ad accoglierle senza essere in grado di controllare in modo esauriente le conseguenze logiche della sua decisione di accettarle. Gli asseriti inclusi entro i complessi proposizionali sulla base dei quali lo scienziato opera di fatto, contengono molti termini in-

determinati, sicché i "sistemi" possono essere ottenuti sempre e soltanto come delle astrazioni. Gli enunciati sono fra loro connessi ora strettamente, ora in modo più elastico. L'intero intreccio delle connessioni non può essere visto in trasparenza in tutto il suo spessore quando si tentano deduzioni sistematiche partendo da un qualche punto particolare. [...]

Varie circostanze condizionano il ricercatore che procede metodicamente in questa scelta del modello. Noi contestiamo che *una enciclopedia preferita da un ricercatore possa essere logicamente distinta da altre sulla base di un metodo delineabile in termini generali*. Con ciò contestiamo non solo che ci possano esser dei metodi generali dell'"induzione" per le scienze empiriche, ma anche che ci siano metodi generali di "controllo"; mentre Popper sostiene al contrario la possibilità di questi ultimi. Dal nostro punto di vista "induzione" e "controllo" son assai più strettamente legati l'una all'altro che non per Popper. [...]

Mentre nega che l'induzione, questa "anticipazione infondata", possa essere trattata, persino nelle sue forme più specifiche, in modo logicamente sistematico, Popper tenta di caratterizzare con il più stretto rigore logico la *falsificazione* come un *metodo generale*, nonostante che egli debba riconoscere che essa non può essere realizzata in modo preciso. E cerca di fondare unitariamente su di essa l'intera logica della ricerca.

Così come Popper introduce al posto della "verificazione" la "corroborazione" di una teoria, noi proponiamo di introdurre l'"indebolimento" di una teoria al posto della "falsificazione": infatti, uno scienziato nella scelta di una certa enciclopedia (che per lo più è caratterizzata da determinate teorie piuttosto generali, che mancano nelle altre enciclopedie al momento disponibili) non rinuncia senz'altro a una teoria a causa di un qualche risultato negativo. Egli considera piuttosto in vari modi quali risultati utili l'enciclopedia, che egli dovrebbe abbandonare assieme alla teoria non confermata, potrebbe ancora fornirgli in futuro. Risultati negativi possono scuotere la sua fiducia nei confronti di una enciclopedia, ma non possono, per così dire, annullarla "automaticamente" grazie all'applicazione di determinate regole.

Noi possiamo tranquillamente pensare che un ricercatore coronato da successo metterà da parte l'ipotesi falsificante, da considerarsi "corroborata" secondo la tesi di Popper, se sulla base di se-

rie riflessioni di carattere molto generale la giudicherà un ostracolo per lo sviluppo della scienza. Sarà del resto proprio lo sviluppo della scienza a mostrare come l'obiezione potrà essere confutata. E se questa decisione si rivelasse difficile da prendersi, il ricercatore non verrebbe comunque in alcun modo incoraggiato a prenderla dalla tendenza fondamentale di Popper a tener conto sempre di elementi particolari in quanto capaci di produrre falsificazione e a non considerare l'enciclopedia nel suo complesso. [...]

Se per esempio diciamo che in un giorno futuro in un determinato punto del cielo sarà osservabile una cometa, abbiamo a che fare, come ha scritto Reichenbach, con "un'asserzione *decidibile soltanto unilateralmente*". Se infatti l'asserzione è vera, allora verrà il giorno nel quale noi potremo dichiarare vero quell'enunciato, e se invece esso non è vero, non arriverà mai il giorno nel quale quell'enunciato potrà essere dichiarato falso". Può essere rilevante, per esempio, che un astronomo osservi costantemente una determinata regione del cielo, perché attraverso una conferma della sua predizione che in quella regione riapparirà una cometa potrebbe trovare nuova corroborazione una teoria forse molto audace, mentre non sembra possibile che in un tempo prevedibile quella predizione possa essere sottoposta a falsificazione nel senso di Popper.

Così come Popper considera metafisiche queste "asserzioni esistenziali aventi forma generale", egli tende nello stesso modo a confinare nelle "regioni della metafisica" quei modelli che non consentono di giungere a una immediata "falsificazione". Popper colloca per esempio l'antica teoria corpuscolare della luce fra le "idee metafisiche", mentre noi assegneremmo alla classe dei modelli *scientifici* un modello che per esempio mostri sia pure in modo vago che certe correlazioni, poniamo fra determinati fenomeni luminosi che in precedenza erano inclusi nella nostra enciclopedia senza alcuna connessione teorica, possano essere derivate in base alle loro caratteristiche da certe premesse più generali, in ipotesi da una teoria corpuscolare. Secondo la nostra concezione, fra questi modelli più indeterminati e quelli più determinati della nostra scienza ci sono innumerevoli gradi intermedi. Perciò non riteniamo che esista alcuna linea di demarcazione che consenta di separare le teorie "falsificabili" da quelle non "falsificabili". [...]

L'esagerata accentuazione della "falsificazione" costringe [...]

Popper a concepire la prassi della ricerca empirica quasi soltanto dal punto di vista secondo cui "il teorico pone allo sperimentatore certe questioni definite e quest'ultimo, con i suoi esperimenti, tenta di cavar fuori una risposta decisiva a tali questioni, e non ad altre".

Le raccolte di materiali (immagini fotografiche del cielo ecc.) o i diari di viaggio (molto istruttivo proprio per questi problemi è per esempio il diario che Darwin teneva durante il suo viaggio attorno al mondo) devono naturalmente prendere le mosse da certi atteggiamenti teorici, che in generale consentono di compiere delle selezioni entro la gamma degli enunciati possibili. Ma questo tipo di atteggiamento teorico non può essere identificato con quelle porte questioni teoriche rigidamente definite che secondo Popper dovrebbe, per così dire, ottenere a forza la "falsificazione".

Popper parla, in modo alquanto sprezzante, "del mito di un metodo scientifico che parte dall'osservazione e dall'esperimento e di qui procede alla costruzione delle teorie (un metodo che ancora oggi si cerca di applicare all'interno di alcune scienze, supponendo che questo sia il metodo della fisica sperimentale)". Si sa bene, invece, quanto materiale etnografico debba spesso essere raccolto prima che si giunga alla formulazione di una teoria e come accada spesso in fisica che si debba descrivere sistematicamente un complesso di fenomeni empirici prima che si sia in grado di dare a essi un ordine teorico. [...]

Popper vorrebbe avere al contrario energie che decisioni solidamente motivate. Questa è senza dubbio una tendenza fondamentale di molte correnti pseudorazionalistiche, che forse dovrebbe essere spiegata in termini di "psicologia della decisione". Persone che compiono *una* determinata azione sulla base di *una* decisione, spesso non sono soddisfatte di aver preso la decisione sulla base di un esame ponderato dei diversi singoli aspetti della situazione. Se non possono fondarsi senz'altro su una approvazione di natura "trascendente", esse vorrebbero poter almeno addurre la giustificazione di un'*univoca* deduzione logica. Mentre il nostro atteggiamento ci porta talvolta a essere incerti se decidere di considerare un determinato risultato negativo come un indebolimento grave di una teoria, o se invece dobbiamo accantonarlo e andare oltre nella nostra ricerca, le formulazioni popperiane alludono nettamente a un atteggiamento ben più rigido, se non assoluto: "se una

decisione ha conseguenze negative, se le conclusioni sono *falsificate*, allora la loro falsificazione falsifica anche il sistema teorico dal quale quelle conclusioni sono state dedotte", come se davvero fosse disponibile un sistema teorico suscettibile di essere così accuratamente purificato da consentire procedure di questo tipo.

Ovviamente, dato questo suo atteggiamento, Popper non può evitare di sopravvalutare l'applicabilità del concetto di "grado di falsificabilità" all'analisi dell'attività scientifica. Si intende bene come, muovendo da questo atteggiamento generale, Popper parli così volentieri di *experimentum crucis*, nonostante tutti gli ammonimenti di Duhem. [...]

Per poter designare un modello di storia della scienza che sia in grado di render conto delle trasformazioni che la caratterizzano [...] è essenziale considerare il fatto che l'entità delle previsioni valide si modifica nel tempo. Se la teoria T_1 fornisce un insieme di predizioni riuiscite A e la teoria T_2 fornisce un insieme di predizioni riuiscite $A + B$, allora si potrà dire che la teoria T_2 ha maggiore successo della teoria T_1 , e che l'entità delle predizioni A è una approssimazione all'entità delle predizioni B . Ma ciò non significa in alcun modo che i principi della teoria T_1 rappresentino necessariamente un'approssimazione ai principi della più feconda teoria T_2 . Dal punto di vista logico ciò può sembrare ovvio, ma questa approssimazione non si verifica sempre neppure sul piano *storico*. Riteniamo perciò che si possa ricondurre alla fondamentale posizione pseudorazionalistica di Popper la tesi che "teorie corroborate possono essere spodestate soltanto da teorie situate a un più alto livello di generalità, cioè da teorie che siano meglio controllabili, e che *contengano le vecchie teorie già corroborate almeno come una buona approssimazione*". Duhem, che Popper cita più volte, mostra assai bene come i diversi stadi della teoria della gravitazione non possano essere pensati come "approssimazioni" agli stadi successivi.

Karl Raimund Popper

Falsificazione e approfondimento

Il filosofo (della scienza), al contrario dello "scienziato impegnato in una ricerca particolare, per esempio in fisica, [...] non affronta una struttura organizzata, bensì qualcosa che ha l'aspetto di un cumulo di materie (sotto le quali [...] è forse sepolto qualche tesoro). Non può fare appello al fatto che esiste un orizzonte di problemi generalmente accettato, poiché forse l'unico fatto generalmente accettato è che non esiste nulla del genere [...]]. Nondimeno c'è ancora qualcuno che crede che la filosofia possa porre problemi autentici intorno alle cose". Così Karl Raimund Popper (1902-1994) nella Prefazione alla *Logik der Forschung* (1934). Congedandone la versione in inglese ampliata e rivista (*The Logic of Scientific Discovery*, 1959), in polemica con la tradizione dell'"analisi del linguaggio" (sia esso scientifico o comune), che riduce "i problemi della filosofia [...] a] problemi concernenti l'uso linguistico o il significato delle parole", ribadisce: "io sono convinto che esista almeno un problema cui sono interessati tutti gli uomini dediti al pensiero. È il problema della cosmologia: *il problema di comprendere il mondo, inclusi noi stessi e la nostra conoscenza in quanto parte del mondo*". E per Popper la questione della conoscenza può essere posta adeguatamente solo declinandola nei termini della *crescita* della conoscenza. Bisogna dunque scartare le "proposte" del convenzionalismo à la Poincaré, che interpreta qualsiasi teoria "come un sistema di definizioni implicite" (vedi p. 101), e il programma del neopositivismo di una demarcazione tra asseriti significanti e non significanti (vedi p. 201). Né un qualche aiuto può venire dalla tradizione dell'induttivismo: le scienze empiriche mirano a formulare "proposizioni genuinamente universali quali sono appunto le 'leggi di natura', proposizioni cioè che devono valere per un numero illimitato di accadimenti. L'estrapolazione da qualsiasi numero *finito* di esempi a favore non è conclusiva, ma fallace".

L'induzione, come hanno mostrato David Hume (1711-1776) e Bertrand Russell, non ha valore epistemologico, ma per Popper nemmeno pratico, come insegnerebbe peraltro il disperato tentativo di John Stuart Mill di riportare l'induzione all'uniformità della natura, e viceversa (vedi

pp. 31-32). Poiché basta un solo esempio contrario a invalidare un enunciato universale, Popper propone come "criterio di demarcazione" tra scienza e pseudoscienza "non [...] la *verificabilità*, ma la *falsificabilità* di un sistema". In altri termini, "da un sistema non si esigerà che sia capace di essere valutato una volta per tutte in senso positivo, ma si esigerà che la sua forma logica sia tale che possa essere valutato per mezzo di controlli empirici in senso negativo". Una teoria, dunque, è *scientifica* se è *falsificabile*, vale a dire se "divide in modo non ambiguo la classe di tutte le asserzioni base [che caratterizzano la nostra esperienza] in due sottoclassi non vuote. Primo, la classe di tutte le asserzioni base con le quali è in contraddizione (cioè che esclude o vieta) [...] la classe dei falsificatori potenziali della teoria; secondo, la classe delle asserzioni base che essa non contraddice o che permette". Nel caso la teoria abbia resistito a "severi" tentativi escogitati per falsificarla, Popper la definisce *corrobolata*. La corroborazione pubblica (che a suo dire non avrebbe alcuna implicazione induttivistica, essendo solo un "conciso resoconto valutativo dello stato [in un dato tempo ...] della discussione critica della teoria") è una componente essenziale della ricerca, non meno dell'ideazione personale da parte del singolo scopritore. Anzi, questa dimensione collettiva è imprescindibile perché si abbia scienza così come la conosciamo da quando (almeno dagli antichi Greci) si è adottato "il metodo della discussione razionale" nell'affrontare problemi "cosmologici". Per riprendere l'esempio di John Herschel (vedi p. 19), un solitario, anche se uscisse dal suo studio, non farebbe scienza se non avesse un contraddittorio - o, per dirla con una celebre battuta di *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie* (pubblicato in versione definitiva solo nel 1979), anche Robinson Crusoe ha bisogno del suo Venerdì, ossia del "buon selvaggio" che tenta di confutare le congetture dell'uomo "civilizzato". Si osservi, però, che in tal modo la "logica" della "ricerca" (*Forschung* in tedesco) di Popper, più che una logica della "scoperta" (*Discovery*, termine caro a Herschel e a Whewell), è una logica del controllo empirico. Non diversamente dagli avversari neopositivisti, fin dagli inizi della sua riflessione Popper separa il "contesto della giustificazione" dal "contesto della scoperta", per il quale vale una sorta di intuizione "quasi hegelsoniana", dato che non esiste alcun meccanismo insieme di regole che possa costituire una *Engine of Discovery*. Ma naturalmente questo riferimento al volontarismo di Henri Bergson (1859-1941) per Popper doveva essere preso *cum grano salis*: fin da una celebre nota su *Erkenntnis* (1933), poi incorporata nelle varie versioni della *Logica*, criticando l'atteggiamento antimetafisico del Circolo di Vienna, egli sostiene che la metafisica, lungi dal ridursi a mera insignificanza, "è la fonte da cui rampollano le teorie delle scienze empiriche". E in alcune pagine di *Realism and the Aim of Science* (ossia il primo volume del *Postscript to the Logic of Scientific Discovery*, redatto in gran parte tra il 1951 e il 1956, ma edito soltanto nel 1983), Popper delinea una concezione dei cosiddetti "programmi di ricerca metafisici" come linee guida sotto il profilo euristico nella costruzione delle

ipotesi scientifiche. Certo, nella galassia delle varie dottrine metafisiche non tutte sono così "feconde". Ma alcune lo sono, si pensi per esempio all'atomismo antico (Leucippo e Democrito), che precede di millenni la concezione atomica della materia e, per alcuni aspetti, la stessa fisica delle particelle elementari, o alla concezione dell'essere di Parmenide, le cui istanze paiono rintracciabili nella teoria dei campi in fisica e, in particolare, nella teoria einsteiniana della relatività.

Nato a Vienna, Popper è stato nella sua lunga vita un testimone del Novecento, il secolo che ha visto non soltanto rivoluzioni scientifiche come relatività e quanti, ma sconvolgimenti politici come due guerre mondiali e l'ascesa e la caduta di regimi totalitari. Lasciata nel 1936 Vienna prevedendo l'annessione al Reich tedesco, rifugiarsi in Nuova Zelanda e infine professore della London School of Economics di Londra (1949), Popper non ha esitato a estendere la propria concezione della discussione razionale in scienza e in filosofia ad altre sfere dell'esperienza umana. Critico dell'interpretazione ortodossa della meccanica quantistica, avversario spietato di marxismo e psicoanalisi, che vedeva come involuzioni pseudoscientifiche di posizioni originariamente scientifiche, epistemologo delle scienze economico-sociali, nonché difensore delle ragioni della democrazia (si veda in particolare *The Open Society and its Enemies* e la discussione cui ha dato origine su Platone "totalitario" e su Hegel e Marx "falsi profeti"), Popper si è spinto a criticare la dittatura dei mass media. Si è anche impegnato vivamente contro le allora nuove tendenze del programma detto Intelligenza Artificiale e ha prospettato una nuova versione del dualismo cartesiano, per quanto riguarda il problema mente-corpo, in un dialogo a un tempo polemico e costruttivo con il premio Nobel per la medicina e la biologia John Carew Eccles (1903-1997).

Le pagine che seguono sono tratte da K.R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London 1959, tr. it. di M. Tincherio, *La logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1970, pp. 11-15, 18-19, 21-22, 25-26, 101-103, 105, 107-108; e da K.R. Popper, *Realism and the Aim of Science from the Postscript to the Logic of Scientific Discovery*, a cura di W.W. Bartley III, Hutchinson, London 1983, tr. it. di M. Benzi e S. Mancini, *Postscript alla Logica della scoperta scientifica*. I. *Il realismo e lo scopo della scienza*, a cura di A. Arrosi e R. Festa, il Saggiatore, Milano 1994, pp. 153-154, 157-164.

Di Popper si vedano anche: *La società aperta e i suoi nemici* (1945), tr. it. Armando, Roma 1974; *La miseria dello storicismo*, tr. it. con una nota di S. Yeca, Feltrinelli, Milano 1997; *Congetture e confutazioni* (1963), tr. it. il Mulino, Bologna 1972; *Conoscenza oggettiva* (1972), tr. it. Armando, Roma 1978; *I due problemi fondamentali della teoria della conoscenza* (1933/1979), tr. it. il Saggiatore, Milano 1987; *Il mito della cornice* (1994), tr. it. il Mulino, Bologna 1995; *La conoscenza e il problema mente-corpo* (1994), tr. it. il Multi-

no, Bologna 1996; K.R. Popper e H. Marcuse, *Rivoluzione o riforme?* (1971), tr. it. Armando, Roma 1977; K.R. Popper e J.C. Eccles, *L'io e il suo cervello* (1977), tr. it. Armando, Roma 1981, 3 voll.; K.R. Popper e K. Lorenz, *Il futuro è aperto*, tr. it. Rusconi, Milano 1989; K.R. Popper e J. Condry, *Cattiva maestra televisione*, tr. it. Reset, Milano 1994.

Per approfondire: S. Amsterdamski (a cura di), *The Significance of Popper's Thought*, Rodopi, Amsterdam-Atiana 1996; D. Antiseri, *Karl R. Popper. Epistemologia e società aperta*, Armando, Roma 1972; Id., *Karl Popper*, Rubbettino, Soveria Mannelli 1999; Id., *La Vienna di Popper*, Rubbettino, Soveria Mannelli 2000; G. Boniolo, "Filosofia della scienza: la chiusura di un ciclo?", in L. Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, vol. 8, a cura di E. Bellone e C. Mangione, Garzanti, Milano 1996, pp. 3-78; M. Buzzoni, *Conoscenza e realtà in Karl Popper*, Franco Angeli, Milano 1982; R. Corvi, *Invito al pensiero di Karl Popper*, Mursia, Milano 1993; R. Dahrendorf, *A History of London School of Economics and Political Sciences 1895-1995*, Oxford University Press, Oxford 1995; S. Gattei, *Critica della ragione incerta. Introduzione al pensiero di Karl Popper*, Società Aperta, Roma 1996; G. Giorello e P. Strata (a cura di), *L'automa spirituale. Menti, cervelli, computer*, Laterza, Roma-Bari 1991; M. Hachoben, *Karl Popper – The Formative Years, 1902-1945. Politics and Philosophy in Interwar Vienna*, Cambridge University Press, New York 2000; I. C. Jarvie e S. Pralong (a cura di), *Popper e la società aperta 50 anni dopo*, tr. it. con introduzione di D. Antiseri e M. Baldini, Armando, Roma 2000; C. Montalzone, *Filosofia e politica in Popper*, Guida, Napoli 1979; R. Nola e H. Sankey (a cura di), *After Popper, Kuhn and Feyerabend. Recent Issues in Theories of Scientific Method*, Kluwer, Dordrecht-Boston-London 2000; A. O'Hear, *Karl Popper*, tr. it. Borla, Roma 1984; M. Pera, *Popper e la scienza su falsifitte*, Laterza, Roma-Bari 1981; A.M. Petroni e R. Viale (a cura di), *Individuale e collettivo: decisione e razionalità*, Raffaello Cortina, Milano 1997; P.A. Schilpp (a cura di), *The Philosophy of Karl Popper*, 2 voll., Open Court, La Salle (Ill.) 1974.



Secondo il punto di vista che sarà esposto qui, il metodo consistente nel sottoporre le teorie a controlli critici e nello scegliere secondo i risultati dei controlli procede sempre lungo le linee seguenti. Da una nuova idea, avanzata per tentativi e non ancora giustificata in alcun modo – una anticipazione, un'ipotesi, un sistema di teorie, o qualunque cosa si preferisca –, si traggono conclusioni per mezzo della deduzione logica. In un secondo tempo queste conclusioni vengono confrontate l'una con l'altra, e con altre asserzioni rilevanti, in modo da trovare quali relazioni logiche

(come equivalenza, derivabilità, compatibilità o incompatibilità) esistano tra di esse.

Volendo, possiamo distinguere quattro differenti linee lungo le quali si può eseguire il controllo di una teoria. Per primo viene il confronto logico delle conclusioni tra loro: confronto per mezzo del quale si controlla la coerenza interna del sistema. In secondo luogo viene l'indagine della forma logica della teoria, il cui scopo è di determinare se la teoria abbia carattere di teoria empirica o di teoria scientifica, o se sia, per esempio, tautologica. In terzo luogo viene il confronto con altre teorie, il cui scopo principale è quello di determinare se la teoria costituisca un progresso scientifico, nel caso che sopravviva ai vari controlli a cui l'abbiamo sottoposta. Infine c'è il controllo della teoria condotto mediante le applicazioni empiriche delle conclusioni che possono essere derivate da essa.

Scopo di quest'ultimo tipo di controllo è di scoprire fino a che punto le nuove conseguenze della teoria – qualunque cosa di nuovo possa esserci in ciò che essa asserisce – vengano incontro alle richieste della pratica, sia a quelle sollevate da esperimenti puramente scientifici, sia a quelle che derivano da applicazioni tecnologiche pratiche. Anche qui la procedura dei controlli rivela il proprio carattere deduttivo. Con l'aiuto di altre asserzioni già accettate in precedenza si deducono dalla teoria certe asserzioni singolari che possiamo chiamare "predizioni": in particolar modo predizioni che possano essere controllate o applicate con facilità. Tra queste asserzioni scegliamo quelle che non sono derivabili dalla teoria corrente, e, più in particolare, quelle che la teoria corrente contraddice. In seguito andiamo alla ricerca di una decisione riguardante queste (e altre) asserzioni derivate, confrontando queste ultime con i risultati delle applicazioni pratiche e degli esperimenti. Se questa decisione è positiva, cioè se le singole conclusioni si rivelano accettabili o verifiche, la teoria ha temporaneamente superato il controllo: non abbiamo trovato alcuna ragione per scartarla. Ma se la decisione è negativa, o, in altre parole, se le conclusioni sono state falsificate, allora la loro falsificazione falsifica anche la teoria da cui le conclusioni sono state dedotte logicamente.

È opportuno notare che una decisione positiva può sostenere la teoria soltanto temporaneamente, perché può sempre darsi che successive decisioni negative la scalzino. Finché una teoria affronta con successo controlli dettagliati e severi, e nel corso del progresso scien-

tifico non è scalzata da un'altra teoria, possiamo dire che ha "provato il suo valore" o che è stata "*corrobora*" dall'esperienza passata. [...]

Qualcuno potrebbe dire che, rifiutando il metodo induttivo, privo la scienza empirica di quella che sembra la sua caratteristica più importante; e ciò significa che eliminano le barriere che separano la scienza dalla speculazione metafisica. A quest'obiezione rispondo che la principale ragione per cui rifiuto la logica induttiva è precisamente questa: che *essa non fornisce un contrassegno appropriato per distinguere* il carattere empirico, non metafisico, di un sistema di teorie; o, in altre parole, che *non fornisce un "criterio di demarcazione" appropriato*.

Chiamo *problema della demarcazione* il problema di trovare un criterio che ci metta in grado di distinguere tra le scienze empiriche da un lato e la matematica e la logica, e così pure i sistemi "metafisici", dall'altro.

Questo problema era noto a Hume che tentò di risolverlo. Con Kant divenne il problema centrale della teoria della conoscenza. Se, seguendo Kant, chiamiamo "problema di Hume" il problema dell'induzione, potremmo chiamare "problema di Kant" il problema della demarcazione.

Di questi due problemi – che sono la fonte di quasi tutti gli altri problemi della teoria della conoscenza – il problema della demarcazione è, penso, il più fondamentale. In realtà, la ragione principale per cui gli epistemologi con tendenze empiristiche sono propensi a puntare tutto sul "metodo dell'induzione", sembra essere la credenza che soltanto questo metodo può fornire un criterio di demarcazione appropriato. Ciò è vero specialmente per quegli empiristi che militano sotto le insegne del "positivismo". [...]

Poiché rifiuto la logica induttiva, devo anche rifiutare tutti questi tentativi di risolvere il problema della demarcazione. Il problema della demarcazione diventa importante per la nostra indagine in seguito a questo rifiuto. Il compito cruciale di qualunque epistemologia che non accetti la logica induttiva dev'essere trovare un criterio di demarcazione accettabile.

[...]

Il mio criterio di demarcazione dovrà essere considerato come una *proposta per un accordo o convenzione*. Le opinioni sull'opportunità di una convenzione siffatta possono differire; ed è pos-

sibile discutere ragionevolmente tali questioni soltanto se le parti in causa hanno qualche scopo in comune. Naturalmente, la scelta di questo scopo sarà, in ultima analisi, una questione di decisione che oltrepassa l'ambito della discussione razionale.

Pertanto, chiunque abbia di mira, come scopo e oggetto della scienza, un sistema di asserzioni assolutamente certe e irrevocabilmente vere, respingerà senza dubbio la proposta che sto per avanzare qui. [...] Gli scopi della scienza che ho in mente sono differenti. In ogni caso non tento di giustificarli rappresentandoli come le mete vere ed essenziali della scienza. Questo non farebbe altro che snaturare il punto della discussione, e significherebbe una ricaduta nel dogmatismo positivistico. Per quanto posso vedere, c'è soltanto *un* modo di argomentare razionalmente in favore delle proposte che ho avanzato: quello, cioè, che consiste nell'analizzare le loro conseguenze logiche: nell'evidenziare la loro fecondità, il loro potere di mettere in chiaro i problemi della teoria della conoscenza.

Non ho perciò nessuna difficoltà ad ammettere che nell'arrivare alla formulazione delle mie proposte sono stato guidato in ultima analisi da giudizi di valore e da predilezioni personali. Spero tuttavia che le proposte che ho avanzato possano essere accettate da coloro che tengono in pregio non soltanto il rigore logico, ma anche la libertà dal dogmatismo; che cercano l'applicabilità pratica, ma sono attratti in misura ancor maggiore dalle avventure della scienza e dalle scoperte che continuamente ci mettono di fronte a questioni nuove e inaspettate, e costituiscono una sfida a scoprire risposte nuove e finora insospettate. [...]

Il criterio di demarcazione inerente alla logica induttiva – cioè il dogma positivistico del significato – è equivalente alla richiesta che tutte le asserzioni della scienza empirica (ovvero tutte le asserzioni "significanti") debbano essere passibili di una decisione conclusiva riguardo la loro verità e falsità; diremo che devono essere "*decidibili in modo conclusivo*". Ciò significa che la loro forma deve essere tale che *sia il verificarle sia il falsificarle* debbano essere logicamente possibili. Così Schlick dice: "... un'asserzione autentica deve essere passibile di *verificazione conclusiva*"; e Waismann afferma ancor più chiaramente: "Se non è in alcun modo possibile *determinare se un'asserzione è vera*, allora l'asserzione non ha alcun significato. Infatti il significato di un'asserzione è il metodo della sua verificazione".

Ora, secondo me, non esiste nulla di simile all'induzione. È pertanto logicamente inammissibile l'inferenza da asserzioni singolari "verificate nell'esperienza" (qualunque cosa ciò possa significare) a teorie. Dunque le teorie non sono *mai* verificabili empiricamente. Se vogliamo evitare l'errore positivistico, consistente nell'eliminare per mezzo del nostro criterio di demarcazione i sistemi di teorie delle scienze della natura, dobbiamo scegliere un criterio che ci consenta di ammettere, nel dominio della scienza empirica, anche asserzioni che non possono essere verificate. Ma io ammetterò certamente come empirico, o scientifico, soltanto un sistema che possa essere *controllato* dall'esperienza. Queste considerazioni suggeriscono che, come criterio di demarcazione, non si deve prendere la *verificabilità*, ma la *falsificabilità* di un sistema. [...]

Se come criterio di demarcazione si deve poter applicare [...] la falsificabilità, dobbiamo poter disporre di asserzioni singolari che possano servire come premesse di inferenze falsificanti. Il nostro criterio, perciò, non sembra far altro che spostare il problema riportandoci, dalla questione circa il carattere empirico delle teorie, alla questione circa il carattere empirico delle asserzioni singolari.

Tuttavia anche in questo modo si è guadagnato qualcosa. Infatti, nella pratica della ricerca scientifica è talvolta di estrema urgenza stabilire una demarcazione in relazione ai sistemi di teorie, mentre raramente sorgono dubbi circa il carattere empirico delle asserzioni singolari. È vero che si compiono errori di osservazione e che tali errori danno origine ad asserzioni singolari false, ma difficilmente lo scienziato ha occasione di descrivere un'asserzione singolare come non empirica o metafisica.

Nella logica della scienza, *i problemi riguardanti la base empirica*, cioè i problemi concernenti il carattere empirico delle asserzioni singolari e il modo in cui esse vengono controllate, svolgono, dunque, una parte differente da quella che svolgono moltissimi altri problemi di cui ci occuperemo. Infatti, la maggior parte di questi problemi ha una stretta relazione con la *pratica* della ricerca, mentre il problema della base empirica appartiene quasi esclusivamente alla *teoria* della conoscenza. [...] Chiamo "asserzione base" [...] un'asserzione che può servire come premessa di una falsificazione empirica; in breve l'asserzione di un fatto singolare. Si è spesso ritenuto che le esperienze percettive forniscano una

specie di giustificazione per le asserzioni base. Si è sostenuto che tali asserzioni sono "basate sopra" queste esperienze; che la loro verità diventa "manifesta in seguito all'ispezione" di queste esperienze; o che è resa "evidente" da queste esperienze, e così via. Tutte queste espressioni manifestano la tendenza, perfettamente legittima, a mettere l'accento sulla stretta connessione tra le asserzioni base e le nostre esperienze percettive. Ma si è anche pensato, giustamente, che *le asserzioni possono essere logicamente giustificate soltanto da altre asserzioni*. Così la connessione tra le percezioni e le asserzioni rimaneva oscura, e veniva descritta da espressioni ugualmente oscure che non spiegavano nulla ma sorvolavano sulle difficoltà o, nel migliore dei casi, le nascondevano dietro metafore.

Anche di questo problema credo si possa trovare soluzione, purché si separino nettamente i suoi aspetti psicologici da quelli logici e metodologici. Dobbiamo distinguere, da un lato, tra *le nostre esperienze soggettive* o *i nostri sentimenti di convinzione* (anche se possono diventare l'oggetto di un'indagine psicologica) e *le relazioni logiche oggettive* sussistenti tra i vari sistemi di asserzioni scientifiche e all'interno di ciascuno di essi, dall'altro.

[...]

Le asserzioni base si accettano come risultato di una decisione o di un accordo; ed entro questi limiti sono convenzioni. Le decisioni si raggiungono in conformità con un procedimento governato da regole. Tra queste riveste speciale importanza una regola che ci dice che non dobbiamo accettare *asserzioni base a caso* – cioè asserzioni base logicamente sconnesse – ma che dobbiamo accettare le asserzioni base che incontriamo mentre controlliamo *teorie*, mentre solleviamo, a proposito di queste teorie, questioni euristiche cui si deve dare una risposta mediane l'accettazione di asserzioni base. [...]

Tutte queste osservazioni sono importanti per la *teoria* epistemologica dell'*esperimento*. Il teorico pone allo sperimentatore certe questioni definite, e quest'ultimo, con i suoi esperimenti, tenta di cavar fuori una risposta decisiva a tali questioni, e non ad altre. Anzi, tenta con tutte le sue forze di eliminare tutte le altre questioni. [...] In questo modo fa sì che, rispetto a questa sola questione, il suo controllo sia "sensibile al massimo, ma insensibi-

le al massimo rispetto a tutte le altre questioni associate... Parte del suo lavoro consiste nell'escludere ogni fonte d'errore". Ma è un errore supporre che lo sperimentatore proceda in questo modo "al fine di gettare luce sul compito del teorico", o magari al fine di fornire al teorico una base per le generalizzazioni induttive. Al contrario, il teorico deve aver già compiuto da molto tempo il suo lavoro, o almeno la parte più importante di esso: deve aver formulato le sue questioni quanto più esattamente può. È dunque il teorico a mostrare la strada allo sperimentatore. Ma neppure lo sperimentatore è impegnato soprattutto a fare osservazioni esatte: anche il suo lavoro è in gran parte di tipo teorico. La teoria domina il lavoro sperimentale, dalla sua pianificazione iniziale ai tocchi finali che esso riceve in laboratorio. [...]

Dunque io mi differenzio dal convenzionalista in quanto sostengo che le asserzioni che si decidono mediante un accordo *non sono universali ma singolari*. E mi differenzio dal positivista perché sostengo che le asserzioni base non sono giustificabili sulla base delle nostre esperienze immediate ma, dal punto di vista logico, vengono accettate mediante un atto di libera decisione [...].

La base empirica delle scienze oggettive non ha dunque in sé nulla di "assoluto". La scienza non posa su un solido strato di roccia. L'ardita struttura delle sue teorie si eleva, per così dire, sopra una palude. È come un edificio costruito su palafitte. Le palafitte vengono conficcate dall'alto, giù nella palude: ma non in una base naturale o "data"; e il fatto che desistiamo dai nostri tentativi di conficcare più a fondo le palafitte non significa che abbiamo trovato un terreno solido. Semplicemente, ci fermiamo quando siamo soddisfatti e riteniamo che almeno per il momento i sostegni siano abbastanza stabili da sorreggere la struttura.

Solo ponendo come requisito che le spiegazioni dovranno impiegare leggi di natura universali (integrate con condizioni iniziali) possiamo progredire verso la realizzazione di spiegazioni indipendenti, o non *ad hoc*. Infatti, le leggi di natura universali *possono* essere enunciati ricchi di contenuto, così da *poter essere controllati indipendentemente* sempre e dovunque. Quindi, qualora vengano usate come spiegazioni non *possono* essere *ad hoc*, dal

momento che *possono* permetterci di interpretare l'*explicandum* come esempio di un processo riproducibile. Tutto questo è vero, tuttavia, se ci limitiamo a leggi universali che siano controllabili, vale a dire falsificabili. È qui che entrano in gioco il problema della demarcazione e il criterio di falsificabilità.

La domanda "che genere di spiegazione può risultare *soddisfacente*?" porta così alla risposta: una spiegazione nei termini di leggi universali e di condizioni iniziali controllabili e falsificabili. Una spiegazione di questo genere sarà tanto più soddisfacente quanto più altamente controllabili saranno queste leggi, e quanto meglio saranno controllate. (Ciò vale anche per le condizioni iniziali.)

[... Ma] se lo scopo della scienza è quello di spiegare, allora sarà suo scopo, altresì, spiegare ciò che è stato finora accettato come *explicans*, come nel caso di una legge di natura. In questo modo il compito della scienza si rinnova costantemente. [...]

Ogni qualvolta ci accingiamo a spiegare una legge o una teoria congetturale mediante una nuova teoria congetturale con un più alto grado di universalità, noi scopriamo di più sul mondo: pensiamo più in profondità nei suoi segreti. E ogni volta che riusciamo a falsificare una teoria di questo tipo, noi facciamo un'importante nuova scoperta. Queste falsificazioni sono infatti molto importanti. Ci insegnano ciò che è inaspettato e ci rassicurano sul fatto che, benché le nostre teorie siano opera di noi stessi, benché siano nostre invenzioni, esse sono, nondimeno, genuine asserzioni sul mondo; possono infatti *scontrarsi* con qualcosa che non abbiamo mai fatto. [...]

[Una] idea che richiede chiarimenti è quella di *profondità*. Essa sfida, a mio avviso, qualsiasi tentativo di analisi logica esaustiva; nondimeno, è una guida per le nostre intuizioni. (È così anche in matematica: in presenza degli assiomi, tutti i teoremi sono logicamente equivalenti, e tuttavia esiste tra essi una grande differenza di "profondità" che è difficilmente suscettibile di analisi logica.) La "profondità" di una teoria scientifica sembra essere in strettissima relazione con la sua semplicità e quindi con la ricchezza del suo contenuto. (Diverso è il caso della profondità di un teorema matematico il cui contenuto può essere considerato nullo.) Sembrano necessari due ingredienti: un ricco contenuto e una certa coerenza o compattezza (o "organicità") dello stato di cose descritto. È quest'ultimo ingrediente che, benché intuitivamente

piuttosto chiaro, è così difficile da analizzare, e che gli essentialisti cercavano di descrivere quando parlavano di essenze, in contrapposizione alle semplici accumulazioni di proprietà accidentali. [...] Ciononostante, sembra esserci qualcosa come una *condizione sufficiente* per la profondità o per i gradi di profondità, che può venire analizzata logicamente. Cercherò di spiegarlo servendomi di un esempio tratto dalla storia della scienza.

È ben noto che la dinamica di Newton realizzò un'unificazione della fisica terrestre di Galileo e di quella celeste di Keplero. Si dice spesso che è possibile indurre la dinamica di Newton dalle leggi di Galileo e di Keplero, e si è persino affermato che ne è possibile una deduzione in senso stretto. Ma non è così: da un punto di vista logico, la teoria di Newton contraddice, a rigore, sia quella di Galileo sia quella di Keplero (benché queste ultime si possano, naturalmente, ottenere come approssimazioni, una volta che si disponga della teoria di Newton). Per questa ragione è impossibile derivare la teoria di Newton da quella di Galileo o da quella di Keplero o da entrambe, sia per induzione sia per deduzione. Infatti, né un'interferenza deduttiva né una induttiva possono mai partire da premesse coerenti per arrivare a una conclusione che contraddice formalmente queste premesse.

Considero questo un argomento molto forte contro l'induttivismo.

Indicherò, ora, brevemente le contraddizioni che sussistono tra la teoria di Newton e quella dei suoi predecessori. Galileo afferma che una pietra lanciata o un proiettile si muovono in una parabola, tranne che nel caso di una caduta verticale libera, quando si muovono con accelerazione costante in linea retta. (In tutta questa discussione trascuriamo la resistenza dell'aria.) Dal punto di vista della teoria di Newton, entrambe queste asserzioni sono false, per due ragioni distinte. La prima perché la traiettoria di un proiettile a lunga gittata, come un missile intercontinentale (lanciato verso l'alto o in direzione orizzontale), non sarà nemmeno approssimativamente parabolica: sarà ellittica. Essa diventa approssimativamente una parabola solo se la distanza totale del volo del proiettile è trascurabile rispetto al raggio della Terra. Questo fu messo in rilievo dallo stesso Newton, sia nei *Principia* sia nella loro versione divulgativa, *The System of the World* [...].

Una situazione logica esattamente analoga sorge in connes-

ne con la seconda parte della legge di Galileo che afferma l'esistenza di un'accelerazione *costante*. Dal punto di vista della teoria di Newton, l'accelerazione dei corpi in caduta libera non è mai costante: aumenta di continuo durante la caduta, a causa del fatto che il corpo si avvicina al centro di attrazione. Questo effetto è assai considerevole se il corpo cade da una grande altezza, benché sia, naturalmente, trascurabile se l'altezza è trascurabile in confronto al raggio della Terra. In questo caso possiamo ottenere la teoria di Galileo da quella di Newton se introduciamo [...] l'assunzione *falsa* che il raggio della Terra sia infinito (o che l'altezza della caduta sia zero).

Le contraddizioni che ho indicato sono lungi dall'essere trascurabili per i missili a lunga gittata. Possiamo applicare a questi la teoria di Newton (con correzioni per la resistenza dell'aria, naturalmente), ma non quella di Galileo: quest'ultima porta semplicemente a risultati falsi, come si può mostrare con la teoria di Newton.

La situazione è analoga per quanto riguarda le leggi di Keplero. È ovvio che, nella teoria di Newton, le leggi di Keplero sono soltanto approssimativamente valide – cioè non valide in senso stretto – se prendiamo in considerazione l'attrazione reciproca tra i pianeti. Ma ci sono tra le due teorie contraddizioni più fondamentali di questa, che è alquanto ovvia. Infatti anche se, come concessione ai nostri avversari, trascuriamo l'attrazione reciproca tra i pianeti, la terza legge di Keplero, considerata dal punto di vista della dinamica di Newton, non può essere niente di più di un'approssimazione applicabile a un caso molto speciale: a pianeti le cui masse sono tutte uguali o, qualora non siano uguali, trascurabili in confronto alla massa del Sole. Poiché questo non vale nemmeno approssimativamente per due pianeti se uno dei due è molto leggero, mentre l'altro è molto pesante, è chiaro che la terza legge di Keplero contraddice la teoria di Newton allo stesso preciso modo in cui la contraddice quella di Galileo. [...]

Qui [...] non sono tanto interessato all'impossibilità dell'induzione quanto al *problema della profondità*. Considerando questo problema, possiamo davvero imparare qualcosa dal nostro esempio. La teoria di Newton unifica quella di Galileo e quella di Keplero. Ma ben lungi dall'essere una semplice congiunzione di queste due teorie – che giocano il ruolo di *explicanda* per quella di Newton – essa *le corregge mentre le spiega*. Il compito esplicativo origi-

nario era la deduzione dei precedenti risultati. A questo compito si adempie, tuttavia, deducendo non questi risultati, ma qualcosa di meglio al loro posto: nuovi risultati che, sotto le condizioni specifiche di quelli più vecchi, arrivano numericamente molto vicino ai risultati più vecchi e, nello stesso tempo, *li correggono*. Si può quindi dire che il successo empirico della vecchia teoria corrobori la nuova; e, inoltre, le correzioni possono a loro volta essere controllate – e forse confutate, oppure corroborate. Ciò che emerge con forza dalla situazione logica che ho delineato è il fatto che la nuova teoria non può assolutamente essere né *ad hoc* né circolare. Lungi dal ripetere il suo *explicandum*, la nuova teoria lo contraddice e lo corregge. In questo modo, anche l'evidenza dello stesso *explicandum* diventa un'evidenza indipendente per la nuova teoria. [...]

Io suggerisco che se, nelle scienze empiriche, una nuova teoria di un più alto livello di universalità spiega con successo qualche teoria più vecchia *correggendola*, allora questo è un segno inequivocabile del fatto che la nuova teoria è penetrata più in profondità di quella vecchia. La richiesta che una nuova teoria debba contenere approssimativamente quella vecchia per valori appropriati dei parametri della nuova può essere denominata (seguendo Bohr) “*principio di corrispondenza*”.

Ludovico Geymonat

La concezione empiristica della causalità

Che cosa intendiamo quando diciamo, per esempio, che in un dato posto e in un dato istante c'è un pezzo di carbone che brucia? Così rispondeva nel 1945 Ludovico Geymonat (1908-1981): “il pezzo di carbone non è di per sé un protocollo, bensì una precisa comune espressione della lingua comune scientifica, espressione sottoposta a certe regole grammaticali: fissate che la connettono ad altre espressioni linguistiche”, in particolare ai cosiddetti enunciati protocollari (si badi che Geymonat usa il termine “proposizioni”). “Una di queste regole dice: ‘è lecito asserire che esiste un pezzo di carbone ardente solo quando si danno questi e quei protocolli (sul colore, sul peso, sulla temperatura ecc.)’. [...] Ciò che noi ora denotiamo con le parole ‘riferimento a certi protocolli’ viene denotato [...] nel linguaggio ordinario con il nome alquanto più vago di ‘osservabilità’. Tradotta in questo linguaggio, la precedente regola suona [...] è *lecito asserire che un ente fisico esiste, solo quando si precisa il modo di osservarlo*; la sua esistenza consiste tutta nella sua osservabilità.” Alcuni anni dopo, in *Filosofia e filosofia della scienza* (1960), Geymonat sfumerà questa concezione: “Possiamo [...] trovare nell'esperienza, ininterrottamente elaborata e rielaborata dalla tecnica, i mezzi effettivamente validi per una verifica graduale del nostro patrimonio scientifico nel suo complesso. Non si tratterà della ‘dimostrazione sperimentale’ di una singola proposizione – come immaginavano gli empiristi dell'Ottocento [il riferimento è soprattutto a Mill] – ma della prova pratica, ben più importante, della indubbia giustizia della strada che la scienza sta percorrendo ormai da secoli”. E Geymonat sottolinea il “carattere globale” di questo tipo di “verifica” in termini per certi versi simili a quelli di Quine (vedi p. 270), ma ponendo l'accento sulla natura di una pratica “cui concorrono giorno per giorno i lavori degli scienziati puri, come quelli degli ingegneri e degli operai”, in un intreccio in cui pare sempre più difficile discriminare “fra scienza e tecnica, fra conoscenza e azione”.

Laureatosi in filosofia (1930) e in matematica (1932), nel biennio 1933-1934 Geymonat entra in contatto con alcuni dei più autorevoli rappresen-

tanti del Circolo di Vienna, stringendo profonda amicizia con Moritz Schlick. Tornato in Italia, si propone di diffondere gli studi di filosofia della scienza che i vari rappresentanti del neopositivismo hanno sviluppato in Austria, Germania, Polonia ecc., rimarcandone le diversità dall'empirismo tradizionale. Nel 1935 pubblica sulla *Rivista di filosofia* il saggio "Nuovi indirizzi di filosofia austriaca", nel quale presenta in modo critico e articolato il pensiero dei neopositivisti viennesi. Antifascista militante, è costretto ad abbandonare il posto di assistente di analisi infinitesimale alla facoltà di Scienze dell'Università di Torino e a insegnare matematica e fisica in scuole private. Nel 1941 deve interrompere anche questa attività. Dal 1943 al 1945 è combattente e commissario politico delle formazioni gariboldine (nome di battaglia: Luca). Del 25 aprile 1945 sono gli *Studi per un nuovo razionalismo*. Professore incaricato di storia della matematica (1946) presso la facoltà di Scienze dell'Università di Torino, pubblica (1947) *Storia e filosofia dell'analisi infinitesimale*, ove coniuga in modo originale ricostruzione storica e riflessione sul problema dei fondamenti della matematica. Dopo aver insegnato in varie sedi filosofia e storia della filosofia (Cagliari, Pavia), nel 1956 è chiamato all'Università di Milano per coprirvi la prima cattedra di filosofia della scienza istituita in Italia. Si occupa intanto della diffusione degli studi di metodologia e di logica, prima impegnandosi nel Centro di studi metodologici di Torino, poi dirigendo negli anni Sessanta il gruppo di "logica matematica" del CNR. Successivamente collabora alla Domus Galileana di Pisa, promuovendo la ripresa in Italia degli studi di storia della scienza.

L'idea di collegare l'analisi logica delle teorie alla loro genesi storica, già presente in alcuni dei *Saggi di filosofia neorazionalistica* (1953), riemerge nella concezione dinamica del "patrimonio tecnico-scientifico" abbozzata in *Filosofia e filosofia della scienza*. Parallelamente i suoi interessi vengono orientandosi sempre più verso una forma di "materialismo non metafisico" che si propone quale alternativa (ma anche integrazione) all'originaria impostazione neopositivistica, come mostra soprattutto *Scienza e realismo* (1977). Tra il 1970 e il 1976 coordina e redige insieme con vari collaboratori la monumentale *Storia del pensiero filosofico e scientifico*. Nel 1974 riceve la Médaille Koyré per la storia della scienza.

Vi ricordare il "selvaggio" di cui parlava John Henschel (vedi p. 3)? Un'immagine del genere compare anche nelle pagine di Geymonat, a indicare come la determinazione di un nesso causale possa essere compresa solo tenendo conto di uno sfondo estremamente ampio di aspettative teoriche; e ciò non vale soltanto per il sofisticato ricercatore della fisica contemporanea (vedi quanto detto da Duham, p. 123), ma per qualsiasi soggetto razionale che appartenga a qualche tipo di cultura o a qualche forma di vita. All'approfondimento di questa dialettica tra teoria ed esperienza, tra conoscenza e azione, mirano anche le analisi etico-politiche che Geymonat svolse fino agli ultimi giorni di una vita feconda di studio e di impe-

gno, non priva di attenzione a una dimensione quasi milliana della libertà, in base alla quale essa risulta "anzitutto libertà di cambiamento", poiché pensa questa tutte le altre libertà verrebbero meno.

Le pagine che seguono sono tratte da L. Geymonat, *Studi per un nuovo razionalismo*, Chiantore, Torino 1945, pp. 242-248, 250, 252-254, 260.

Di Geymonat si vedano anche: *Il problema della conoscenza nel positivismo*, Bocca, Torino 1931; *La nuova filosofia della natura in Germania*, Bocca, Torino 1934; "Nuovi indirizzi della filosofia austriaca", in *Rivista di filosofia*, 26 (1935), pp. 146-175; *Storia e filosofia dell'analisi infinitesimale*, Levrotto & Bella, Torino 1947; *Saggi di filosofia neorazionalistica*, Einaudi, Torino 1953; *Filosofia e filosofia della scienza*, Feltrinelli, Milano 1960; *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, 7 voll., Garzanti, Milano 1970-1976; *Scienza e realismo*, Feltrinelli, Milano 1977; *Paradossi e rivoluzioni*, intervista a cura di G. Giorello e M. Mondadori, il Saggiatore, Milano 1979; *Le ragioni della filosofia della scienza*, Mondadori, Milano 1985; *Scienza e storia: contributi per uno storicismo scientifico*, prefazione di L. Zanzi, a cura di F. Minazzi, Bertani, Verona 1985; L. Geymonat e G. Giorello, *Le ragioni della scienza*, con la partecipazione e un'appendice di F. Minazzi, Laterza, Roma-Bari 1986; *La libertà*, Rusconi, Milano 1988; L. Geymonat, E. Agazzi e F. Minazzi, *Filosofia, scienza e verità*, Piemme, Casale Monferrato 1995.

Per approfondire: AA.VV., *Ludovico Geymonat filosofo della contraddizione*, Sapere, Padova 1980; C. Mangione (a cura di), *Scienza e filosofia. Saggi in onore di Ludovico Geymonat*, Garzanti, Milano 1985; Id. (a cura di), *Omaggio a Ludovico Geymonat*, Muzio, Padova 1992; F. Minazzi, *La passione della ragione: studi sul pensiero di Ludovico Geymonat*, Thelema, Milano 2001; F. Nuzzi, *Il neorazionalismo di Ludovico Geymonat*, Galus, Napoli 1971; S. Paolini Merlo, *Consumitismo storico e filosofico sul "Centro di studi metodologici" di Torino*, Pantograf, Genova 1998; M. Quaranta, *Ludovico Geymonat. Una ragione inquieta*, SEAM, Roma 2001; M. Quaranta e B. Maiorca, *L'anno della critica di Ludovico Geymonat*, Garzanti, Milano 1977; J. W. Chang Teh, *Dal neopositivismo allo storicismo scientifico. L'evoluzione filosofica di Ludovico Geymonat*, Pontificia Universitas Gregoriana, Roma 1970.



Che cosa intendiamo asserire, quando affermiamo l'esistenza di un fenomeno fisico? Per esempio quando affermiamo "qui esiste un pezzo di carbone ardente", oppure "là esiste una lastra di zinco che viene corrosa dall'acido solforico versato su di essa"?

Evidentemente – risponderà qualcuno – intendiamo riferirci all'esistenza di certi protocolli [...]. Però sorge subito la doman-

da: il "pezzo di carbone" è esso stesso un protocollo? La "lastra di zinco che viene corrosa" è un protocollo? La risposta non può essere che negativa. E infatti: il "pezzo di carbone" non è, di per sé, un protocollo, bensì una ben precisa espressione della lingua comune e scientifica, espressione sottoposta a certe regole grammaticali fisse che la connettono ad altre espressioni linguistiche e in particolare a tutto un insieme di proposizioni protocollari. Una di queste regole dice: "è lecito asserire che esiste un pezzo di carbone ardente, solo quando si danno questi e quei protocolli (sul colore, sul peso, sulla temperatura ecc.)". Resta dunque stabilito quanto segue: quegli enti che noi denotiamo col nome di "fenomeni fisici" non sono dei puri e semplici protocolli (il termine "protocollo" indica una proposizione, non un ente), ma sono qualcosa la cui esistenza risulta connessa a certi protocolli da regole ben determinate. Non sono dunque enti puramente empirici; sono però enti strettamente collegati all'esperienza.

Ciò che noi, ora, denotiamo con le parole "riferimento a certi protocolli" viene denotato invece, nel linguaggio ordinario, con il nome alquanto più vago di "osservabilità". Tradotta in questo linguaggio, la precedente regola suona dunque così: *è lecito asserire che un ente fisico esiste, solo quando si precisa il modo di osservarlo*; la sua esistenza consiste tutta nella sua osservabilità.

Malgrado la sua apparente semplicità, questa regola presenta a rigore un interesse teorico molto notevole. Essa viene infatti a porre in luce un errore assai comune, e pure gravido di pericoli: quello di interpretare l'esistenza come un'idea generale di carattere intuitivo. E questo errore, che condusse alcuni fisici a pensare l'esistenza dei fenomeni microscopici come analoga a quella dei fenomeni macroscopici; a pensare per esempio l'esistenza dell'elettrone come analoga a quella di una palla da biliardo, fissando la seguente regola: "è lecito asserire che un certo elettrone esiste, quando e solo quando possiamo, in ogni istante, misurarne con esattezza arbitrariamente grande posizione e velocità". Ogni fisico sa invece che, qualora adottassimo la regola ora riferita, ci precluderemmo con ciò qualsiasi possibilità di affermare [...] l'esistenza di un elettrone. È noto infatti che i metodi, con i quali possiamo di fatto determinare il protocollo "posizione di un elettrone" e quelli con i quali possiamo di fatto determinare il protocollo "velocità di un elettrone", si escludono a vicenda, nel senso che

l'esattezza di una delle due misure va tutta a scapito dell'esattezza dell'altra. È quindi, per principio, impossibile determinare contemporaneamente, con un'esattezza arbitrariamente grande, la posizione e la velocità di un elettrone come si determinano la posizione e la velocità di una palla da biliardo. L'ente fisico "elettrone" (come molti altri della fisica microscopica) risulta perciò qualcosa di profondamente diverso dall'ente "palla da biliardo" o da qualunque altro ente della fisica macroscopica. [...]

Poiché il rapporto causale pensato nella proposizione [(*)] "lo scoccare della scintilla tra due elettrodi della candela, entro il cilindro di un motore a scoppio ripieno di aria e di gas di benzina, è la causa dell'esplosione di questa miscela di gas" è un rapporto che lega fenomeno a fenomeno, esso dovrà partecipare delle stesse caratteristiche proprie dei fenomeni, e cioè: da un lato coinvolgere qualche idea che oltrepassa il campo dei puri e semplici protocolli [...], dall'altro lato trovarsi strettamente connesso con le proposizioni protocollari.

Cominciamo a illustrare la prima parte della nostra affermazione. [...] Il rapporto causale espresso dalla proposizione [(*)] è un rapporto di *successione regolare*; questa proposizione asserisce [...] che, al prodursi del fenomeno causa, segue *sempre* – con una ben determinata regola – il prodursi del fenomeno effetto. Per l'appunto in questo "sempre" è contenuta un'idea che oltrepassa il campo dei puri e semplici protocolli. E invero: che un fenomeno segua all'altro in uno, due, in mille casi, è un fatto verificabile a mezzo di protocolli e quindi è un'espressione che ha senso nel cosiddetto campo dell'esperienza pura; che l'un fenomeno segua sempre all'altro, è invece un asserto per principio inverificabile a mezzo di protocolli, e perciò è un'espressione che non possiede alcun senso preciso in tale esperienza.

Il "sempre" della proposizione anzidetta ci rinvia, dal campo dell'esperienza pura, al campo delle espressioni teoriche. E infatti, mentre non ha alcun senso empirico preciso l'asserto poco fa enunciato "un fenomeno segue sempre all'altro", ha invece un senso teorico esatissimo l'asserto "i concetti dei due fenomeni considerati sono tali, che il prodursi del fenomeno effetto *deve* sempre seguire al prodursi del fenomeno causa".

Quest'ultimo asserto risulta fornito di senso, perché è esattamente verificabile (non nel campo dei protocolli, ma nel campo

della teoria in cui trovansi inseriti i concetti dei due fenomeni). Affermare in campo teorico che “un certo fenomeno *deve* sempre prodursi” è perfettamente lecito; ciò, che non sarebbe lecito, invece, è confondere quest’affermazione con l’altra “tale fenomeno di fatto sempre si produce”. La prima proposizione pretende obbedire alle regole grammaticali delle proposizioni teoriche; la seconda invece pretende obbedire alle regole grammaticali dei protocolli. E noi sappiamo [...] che l’affermazione “qui si dovrà dare un certo protocollo” è *assolutamente diversa* dall’affermazione “qui si dà tale protocollo”.

Dunque il rapporto di causazione da fenomeno a fenomeno è un rapporto che ha un senso preciso e verificabile nel campo delle teorie, non nel campo della cosiddetta esperienza pura; esso riguarda il “*dover essere*” scientifico, non l’essere empirico.

Qualcuno obietterà probabilmente: “ma si parla molte volte di un rapporto causale tra due fenomeni, senza fare riferimento ad alcuna teoria dei fenomeni stessi”. Rispondo: senza dubbio accade assai spesso che la teoria, in cui inseriamo i fenomeni, non sia affatto chiara e distinta, ma sia anzi tanto rudimentale da sfuggire quasi alla nostra consapevolezza: non accade però mai che, parlando di rapporto causale tra due fenomeni, non ci si riferisca – almeno implicitamente – a una teoria di essi.

Proviamo su di un esempio. Un selvaggio, assolutamente ignaro di armi da fuoco, vede per la prima volta un esploratore puntare il proprio fucile contro un animale e con un colpo abatterlo; malgrado che egli si trovi dinanzi a un fatto per lui del tutto nuovo, ritiene immediatamente la prima azione causa della seconda. In apparenza sembrerà che, in questo caso, il nostro selvaggio applichi l’idea di causa senza riferirla ad alcuna teoria dei fenomeni considerati. A rigore però non accade così: è facile infatti convincersi – per quanto almeno ci consta dai racconti degli esploratori – che il selvaggio, indotto dall’analisi fra il tuono e il rumore prodotto dallo scoppio delle polveri, si forma immediatamente una teoria animistica o magica dell’arma osservata, in base alla qual teoria è possibile dedurre, dall’atto di puntare il fucile contro un animale, la conseguenza che esso *deve* cadere di morte subitanea e violenta.

Passiamo ora a mostrare la seconda parte dell’affermazione da noi enunciata [in precedenza]; mostriamo cioè come il rapporto causale, sebbene abbia un senso verificabile solo nel campo delle

teorie, risulti però inscindibilmente connesso con il campo dei protocolli [...].

Il rapporto di successione causale fra due fenomeni *A* e *B* non può più venire interpretato, come usavano certi metafisici, quale indice di un “legame profondo” fra le “vere realtà” di *A* e *B*. Non ha infatti alcun senso preciso parlare di queste “vere realtà”, poiché i fenomeni *A* e *B* non posseggono altra esistenza verificabile, fuorché quella che può venire osservata per mezzo di certi determinati protocolli.

Al rapporto di successione causale non potranno dunque spettare altri caratteri, fuorché quelli che riguardano l’effettiva, *osservabile*, esistenza del fenomeno causa e del fenomeno effetto. In particolare: se l’osservazione della causa e dell’effetto rivela infondati certi caratteri, che l’uomo comune vorrebbe attribuire – quasi fossero intuitivi – al processo di causazione, occorrerà prescindere francamente da essi per fermarsi soltanto su ciò che vi è, in tale processo, di più preciso e di meglio determinato.

Per spiegare il nostro pensiero, sarà opportuno riferirci a un esempio concreto.

Prendiamo in esame due atomi dello stesso elemento radioattivo, situati nelle identiche condizioni fisiche. Per comodità di esposizione li chiameremo uno *X* e l’altro *Y*.

L’analisi più scrupolosa e precisa dei nostri metodi d’osservazione ci insegna che è, per principio, impossibile stabilire fra *X* e *Y* una differenza osservabile che possa, a buon diritto, considerarsi per essi effettiva. Per stabilire questa differenza occorrerebbe infatti applicare a *X* e a *Y* delle misure che perturberebbero, in modo imprecisabile, lo stato fisico dei due atomi osservati. È dunque necessario, in conseguenza a quanto [prima] spiegato, riconoscere che fra *X* e *Y* non esiste oggi alcuna differenza, e cioè che *X* e *Y* sono, al momento presente, tra loro eguali.

Le osservazioni del comportamento sperimentale di *X* e di quello di *Y* potranno perciò venire considerate come due prove del medesimo processo naturale.

Ora è noto, dalle più semplici ricerche di laboratorio, che tenendo i due atomi *X* e *Y* nelle condizioni fisiche più rigorosamente eguali, si constata che essi esplodono in tempi *t* e *t'* fra loro diversi (per esempio, *X* esplode fra un anno e *Y* fra due). Ci troviamo dunque di fronte a questo incontestabile fatto: posto l’atomo radioattivo *X* in certe condizioni fisiche, si osserva la sua esplosione fra un

anno; ripetuta l'osservazione, nelle identiche condizioni fisiche, sull'atomo Y eguale a X, si constata che esso esplode, non dopo uno, ma dopo due anni. La famosa regolarità del processo causale vien meno; la determinatezza di esso – per l'innanzi verificata in tutti i fenomeni macroscopici – viene improvvisamente a mancare. Diremo che il fenomeno dell'esplosione, ora accennato, non ha nulla a che vedere con i processi causali? O diremo invece che la successione causale non è affatto obbligata a possedere quei caratteri di determinatezza, che l'uomo comune – generalizzando i casi della fisica macroscopica – pretenderebbe attribuirle?

[...]

Il rapporto di successione causale, che [...] è un rapporto essenzialmente teorico, non [è] tale che si possano a esso attribuire caratteristiche arbitrarie. Le sue caratteristiche non sono né qualcosa di arbitrario, né qualcosa di astratto, né tanto meno qualcosa che dipenda da una intuizione vaga e generica: esse sono caso per caso quelle speciali caratteristiche, che ci vengono suggerite dalla forma stessa dei nostri protocolli.

In taluni casi l'osservazione, più volte ripetuta, del fenomeno causa e del fenomeno effetto ci mostra che il rapporto di successione causale possiede il carattere di precisa regolarità [...]; in altri casi invece, che non lo possiede.

L'importante è non generalizzare né l'uno né l'altro caso, ma riconoscere con franchezza che ai fenomeni del primo tipo è lecito applicare un concetto di causazione deterministica sul genere di quello galileiano, mentre ai fenomeni del secondo tipo occorre applicare un concetto di causazione di genere affatto diverso. In altri termini: il rapporto di causazione non è qualcosa di oggettivo, come lo si pensava nella vecchia metafisica ("rapporto sempre identico per tutte le realtà"), né è una categoria fissa nel senso kantiano, ma è un rapporto di carattere concettuale, cui dobbiamo attribuire caratteristiche diverse a seconda che intendiamo applicarlo all'uno o all'altro genere di fenomeni.

[...]

Chiarito con esattezza il problema del determinismo fisico corrispondente alla causalità pensata nella proposizione (*), resta ora da precisare il senso e il valore del determinismo fisico corri-

spendente alla causalità pensata nella proposizione [(**)] "la legge di gravitazione universale è la causa della caduta di questa pietra al suolo", cioè del determinismo tipo Laplace.

È evidente che esso non può più reggere, oggi, nei termini precisi in cui era stato concepito da Laplace. Sappiamo infatti, da quanto fu detto [a p. 262], che per gli enti della fisica microscopica come per esempio gli elettroni, non ha senso parlare, contemporaneamente, di posizione esatta e di esatta velocità. Non può quindi avere alcun senso, affermare con Laplace che per tali enti risultino prevedibili con assoluta precisione posizione e velocità in un istante qualunque del tempo. Essi sono enti, la cui esistenza non possiede gli stessi caratteri propri dell'esistenza verificabile nel mondo dei fenomeni macroscopici; ogni previsione su di essi, se vuole essere fornita di senso, deve perciò venire enunciata in modo radicalmente nuovo, deve dirci qualcosa sui loro effettivi caratteri, non su quegli pseudocaratteri che venivano loro attribuiti in base a una vaga analogia con gli enti della fisica macroscopica.

Il determinismo di Laplace ha perso oggi il suo valore, perché la natura dei fenomeni si è rivelata molto più complessa di quel che Laplace immaginasse; si è rivelata, cioè, costituita di fenomeni che *non esistono tutti allo stesso modo*. [...] Caduta l'univocità del termine "esistenza fisica", cade con essa ogni solida base per l'antica pretesa di stabilire un complesso univoco di leggi per tutte le esistenze fisiche.

Ma il significato del determinismo tipo Laplace non si esaurisce tutto qui. Esso ci rinvia a una idea molto più generale: all'affermazione che *la natura procede sempre secondo certe leggi ben precise*, siano esse deterministiche o probabilistiche, siano esse enunciabili in una forma vecchia a noi conosciuta o in qualche forma nuova totalmente fuori dalla nostra immaginazione. In altri termini: che la *natura possiede una propria razionalità*, si sviluppa secondo un piano logico, non importa se noto o ignoto, non importa se conforme o meno agli schemi della scienza e della logica classiche. La mente superiore, che riuscisse a cogliere questo piano logico, a penetrare il vero ordine più o meno complesso della natura afferirebbe in quest'ordine il passato, il presente e il futuro dei fenomeni, senza il benché minimo dubbio, senza la benché minima oscurità.

Ma che senso può avere – per il razionalista critico – l'affermare che *esiste* una legalità della natura, se non precisiamo come

questa legalità si manifesti e come sia controllabile? Che senso può avere una "razionalità in sé" scissa e indipendente dalla nostra razionalità? Che senso può avere una razionalità generica, opposta a quella ben determinata delle nostre costruzioni scientifiche? Con qual diritto possiamo parlare di un "piano logico della natura", quando sappiamo che il termine "logico" non possiede alcun senso intuitivo generale, ma ne prende uno via via diverso a seconda dei principi che poniamo alla base della logica?

[...]

Qual è dunque, in breve, la nostra opinione [...] sul classico problema della razionalità della natura?

La nostra opinione è questa: la cosiddetta razionalità della natura non può essere altro che la razionalità concreta e determinata dalle teorie scientifiche, con le quali la natura trovasi espressa. E la razionalità caratteristica delle varie teorie fisiche, chimiche, biologiche, che traducono in forma logica precisa quanto il linguaggio ordinario esprime in forma imprecisa.

E una razionalità intrinseca alla natura, in quanto è intrinseca alla lingua, fuori della quale non ha senso parlare di natura. E, badiamo bene, è intrinseca alla stessa lingua ordinaria primitiva, in quanto la lingua scientifica non è qualcosa di estraneo a questa lingua ordinaria, di "senza relazione" con essa, ma è un complesso di proposizioni che precisano e completano le proposizioni della lingua ordinaria.

Così, per esempio, la lingua dell'ottica fisica riesce ad analizzare e determinare, col ricorso alle cosiddette lunghezze d'onda, le espressioni sempre vaghe della lingua comune "verde, giallo, giallo-verde ecc.". Così la lingua della biologia scientifica precisa e determina le espressioni comuni "vita, morte, organismo". Così le formule della meccanica astronomica precisano le espressioni grossolane, con cui l'uomo del popolo descrive il moto degli astri.

Oggi ha un senso ben preciso parlare di razionalità della natura, perché esistono molte teorie ben costruite, che traducono in sistemi logici i fatti naturali espressi dalla lingua ordinaria.

Willard Van Orman Quine

Olismo ed empirismo illuminato

Ricordate il marinaio della metafora di Otto Neurath (vedi p. 235) che ricostruisce la sua nave con i pezzi di cui essa è composta senza mai rifugiarsi in un porto sicuro? Analogamente Willard Van Orman Quine (1908-2001), logico e filosofo statunitense laureatosi in matematica sotto la guida di Whitehead, poi allievo di Rudolf Carnap durante un soggiorno europeo, infine prestigioso professore di filosofia alla Harvard University (Mass.), muove una critica radicale alle tesi dell'empirismo in *Two Dogmas of Empiricism* (1951), ripreso poi in *From a Logical Point of View* (curiosamente tradotto in italiano con il titolo *Il problema del significato*). Il primo di tali dogmi, non empiristico ma insinuatosi nell'empirismo, vero e proprio "metafisico atto di fede", è la distinzione tra analitico e sintetico, la stessa che Kant aveva posto alla base della *Critica della ragion pura* (1781, 1787), definendo analitico un giudizio in cui "il predicato B appartiene al soggetto A" come qualcosa che è contenuto (nascostamente) in questo concetto A". In realtà, nonostante l'importanza attribuitagli dalla filosofia moderna (la distinzione, prima che in Kant, compare in Locke, Leibniz e Hume, sia pure sotto altri nomi: verità di ragione/verità di fatto...) e contemporanea (Neurath aveva caratterizzato la filosofia del Circolo di Vienna col rifiuto dei giudizi sintetici *a priori*; Carnap aveva cercato di spiegare la validità della logica, che costituiva il punto debole dell'empirismo, con l'analiticità delle leggi logiche, basata sulle convenzioni linguistiche), è per Quine impossibile tracciare coerentemente la distinzione tra giudizi o verità sintetiche e giudizi o verità analitiche. Più precisamente, la distinzione può essere compiuta solo servendosi di nozioni che la presuppongono, come quelle di significato (*intensione*), di sinonimia (aver lo stesso significato) e di necessità. Per esempio, se diciamo con Leibniz che la sinonimia di due forme linguistiche consiste nella possibilità di sostituirle l'una con l'altra in tutti i contesti senza alterare i valori di verità (sostituibilità reciproca *salva veritate*), possiamo pensare di definire le verità analitiche (come "Tutti e solo gli scapoli sono uomini non sposati") come quelle che si possono ottenere sostituendo sinonimi a sinonimi ("scapolo" e "uomo non sposato"). Ma la sostituibilità *sal-*

va *veritale* definisce la sinonimia solo se il linguaggio che prendiamo in considerazione è sufficientemente ricco da contenere l'avverbio "necessariamente" (o averbi equivalenti), poiché altrimenti risulterebbero sinonime espressioni che chiaramente non lo sono. Per esempio, di fatto accade che tutte le creature con reni abbiano anche il cuore, e viceversa; dunque, se disponiamo di un linguaggio che può parlare solo di ciò che accade di fatto, ma non di ciò che potrebbe accadere o di ciò che accade necessariamente, possiamo usare indifferentemente (e quindi sostituire *salva veritate*) "creatura con reni" e "creatura con cuore". Ma queste due espressioni non sono affatto sinonime. Se invece nel nostro linguaggio possiamo fare un'affermazione (falsa) come "Necessariamente le creature con cuore sono creature con reni", allora il criterio della sostituibilità *salva veritate* dà effettivamente il risultato voluto, perché in questa affermazione *non* possiamo sostituire "creatura con reni" con "creatura con cuore". "Necessariamente le creature con cuore sono creature con cuore" è *vera*, non *falsa*!

Il problema è che l'uso dell'avverbio "necessariamente" presuppone la nozione di analiticità, perché (almeno secondo Quine) sono "necessari" precisamente tutti e soli i "giudizi analitici". Dunque, il tentativo di definire l'analiticità mediante la sinonimia nasconde un circolo vizioso.

L'impossibilità di tracciare in maniera non circolare la distinzione tra ciò che è analitico e ciò che è sintetico condanna anche il *secondo dogma* dell'empirismo. I neopositivisti avevano elaborato una teoria del significato che prevedeva una netta distinzione tra asseriti (sintetici) di cui possiamo riconoscere la verità confrontandoli con l'esperienza sensibile e asseriti (analitici) che risultano veri indipendentemente da qualunque esperienza sensibile e sono quindi immuni dalla falsificazione empirica. Ma se non è possibile tracciare quella distinzione, va allora rifiutata anche questa teoria del significato, e soprattutto il suo "dogma" centrale per cui "ciascun enunciato, preso da sé, separatamente dagli altri, si può confermare o infirmare" mettendolo a confronto con l'esperienza. Al suo posto, ispirandosi agli argomenti di Duhem (vedi pp. 115-123), Quine propone un'immagine *olistica* del linguaggio e di tutta la conoscenza. Come leggevamo qui a p. 277: "L'unità di misura della significanza empirica è la scienza nella sua globalità". La scienza è "come un campo di forza i cui punti limite sono l'esperienza".

Allora, nel caso per esempio di una smentita dell'esperienza, la scelta di quale parte del campo mutare dipende dalle nostre *abitudini* e dai nostri *interessi*, e ciò giustifica la maggiore resistenza alle modificazioni del campo da parte degli enunciati della logica e della matematica, e un tempo dagli assunti ontologici del senso comune. *Di solito* preferiamo mutare non il "centro" della rete, ma una porzione il più possibile piccola della "periferia". Tuttavia, osserva Quine, "nessun enunciato è immune [...] da correzioni", a partire dalla "legge logica del terzo escluso", la cui modificazione peraltro sembra richiesta "per semplificare la meccanica quantistica; e che differenza c'è in linea di principio fra una modifica del genere e quella per

cui Keplero ha preso il posto di Tolomeo, Einstein quello di Newton o Darwin quello di Aristotele?".

La chiarificazione dello statuto ontologico degli oggetti nei termini di scelte di carattere pragmatico (per cui la differenza tra gli enti fisici e gli Dei di Omero è solo di grado, e non di natura) e l'analisi del linguaggio come "arte sociale" per la quale "dobbiamo basarci soltanto su indizi intersoggettivamente disponibili relativi a quello che dobbiamo dire e al momento in cui dobbiamo dirlo" costituiscono l'asse portante delle riflessioni di *Word and Object* (1960). Riprendendo la tesi della sottodeterminazione teorica rispetto all'evidenza empirica (vedi p. 70) e quasi equiparando le teorie alle lingue, Quine adotta l'idea che nessuna evidenza empirica sia sufficiente per determinare la *giusta* traduzione da una "lingua" all'altra. Pensiamo a un linguista che tenti di capire la lingua sconosciuta di una tribù studiando il comportamento linguistico dei nativi; poniamo che al passaggio di un coniglio uno di questi esclami "Gavagai!". Il nostro linguista annoterà l'enunciato "Coniglio" (o "Guarda un coniglio") come traduzione provvisoria, da sottoporre a ulteriori controlli, al termine dei quali potrà eventualmente ipotizzare che *gavagai* significhi *coniglio*. Ma ciò non dà alcuna garanzia che i due termini siano "coestensivi", ossia "veri delle stesse cose". Può darsi che il nativo si riferisca con quel termine non a un oggetto fisico che perdura nel tempo (coniglio), ma a meri stadi, segmenti temporali di quell'oggetto ("apparenze di coniglio") – un po' come capita in un celebre racconto di *Finzioni* di Jorge Luis Borges (1899-1986). "Gavagai!" significherebbe non "(Guarda) un coniglio!", ma "(Guarda) un'apparenza di coniglio!". Né le cose cambiano se aumentiamo il numero di osservazioni. L'interpretazione dell'asserzione richiederà sempre quelle che Quine chiama "ipotesi analitiche", in virtù delle quali il nostro linguista "compila una lista di 'parole' indigene", uguagliandone "un certo numero a espressioni della propria lingua" ecc., ricostruendo per così dire la grammatica del comportamento linguistico osservato. Ma ci risiamo: "sistemi rivali di ipotesi analitiche possono essere conformi a tutte le disposizioni verbali entro ciascuna delle lingue coinvolte, eppure dettare, in innumerevoli casi, traduzioni completamente disparate; non mere perifrasi reciproche, ma traduzioni ciascuna delle quali verrebbe esclusa dall'altro sistema di traduzione". Come esiste una sottodeterminazione nel caso di almeno due teorie alternative che rendono conto in modo adeguato dei medesimi fatti, così esiste un'inderminanza della traduzione che ci impedisce di affermare che una traduzione sia più vera dell'altra. Ciò ci costringe ad ammettere che non è possibile individuare in modo preciso di cosa parlino le espressioni di un certo linguaggio, ossia quale sia il riferimento delle varie espressioni denotative (come "Gavagai!"), nel senso che vi sono diverse risposte altrettanto corrette (tesi dell'imperscrutabilità del riferimento). Le stesse considerazioni valgono non solo per il linguaggio di un lontano aborigeno, ma anche per il nostro: di nuovo, come il marinaio di Neurath non

ha accesso al porto, così noi non abbiamo accesso a significati in sé, la cui determinazione "è giustificata soltanto nei termini delle disposizioni degli uomini a rispondere apertamente a stimolazioni socialmente osservabili".

A ciò porta l'analisi filosofica. Ma questa non è anteriore alla scienza stessa, bensì *per noi* non può essere che patrimonio integrante del "campo scientifico". Per Quine, come per non pochi degli autori che abbiamo trattato, l'immagine scientifica del mondo (come quella dello stesso senso comune) non è il prodotto di un rispecchiamento passivo della realtà. Eppure, contro le numerose accuse di relativismo, Quine insiste sul fatto che dall'empirismo (ma da un empirismo senza dogmi, un "empirismo illuminato") non si può prescindere. Dal relativismo più radicale ci salva quella che egli chiama un'epistemologia naturalizzata e che, in un testo del 1969, caratterizza come "una ricostruzione in parte veridica e in parte forse congetturale del processo mediante il quale il linguaggio della teoria potrebbe essere stato appreso". In tal modo l'epistemologia deve fare propri i metodi e i dati della scienza (psicologia, psicolinguistica ecc.), cercando di chiarire come dagli stimoli sensoriali immediati giungiamo alle teorie sul mondo. La scienza appare così come esito dell'indagine conoscitiva e insieme come strumento a chiarezza. Non si tratta, però, di chiara Quine, di un "circolo vizioso": se ciò porterà finalmente a una spiegazione veridica dell'evoluzione della conoscenza stessa, tanto di guadagnato; se non sarà così, non disponiamo comunque di altro modo per giungere a una comprensione soddisfacente.

Le pagine che seguono sono tratte da W.V. Quine, "Two Dogmas of Empiricism", in *The Philosophical Review*, 60 (1951), pp. 20-43 (ristampato in *From a Logical Point of View*, Cambridge University Press, Cambridge 1953, pp. 20-46); tr. it. di E. Misrretta, "Due dogmi dell'empirismo", in *Il problema del significato*, Ubalдини, Roma 1966, pp. 36-43.

Di Quine si vedano anche: *Parola e oggetto* (1960), tr. it. a cura di F. Mondadori, il Saggiatore, Milano 1970; *I modi del paradosso*, tr. it. a cura di M. Santambrogio, il Saggiatore, Milano 1975; *La relatività ontologica e altri saggi*, tr. it. a cura di M. Leonelli, Armando, Roma 1986; *Logica e grammatica*, tr. it. con introduzione di P. Parrini, il Saggiatore, Milano 1981; *Quidliantes*, tr. it. a cura di L. Bonatti, Garzanti, Milano 1991; *Saggi filosofici 1970-1981*, tr. it. a cura di M. Leonelli, Armando, Roma 1983.

Per approfondire: A. Bottani, *Il riferimento imperscrutabile*, Franco Angeli, Milano 1996; P. Casalegno, *Filosofia del linguaggio*, La Nuova Italia, Firenze 1997; L.E. Haham e P. Schilpp (a cura di), *The Philosophy of W.V. Quine*, Open Court, La Salle (Ill.) 1986; L. Handjaras e A. Marinotti, *Epistemologia, logica e realtà. Un'introduzione a K. Popper e W.V. Quine*, La Nuova Italia, Firenze 1983; S.G. Harding (a cura di), *Can Theories be Refuted? Essays on the Duhem-Quine Thesis*, Reidel, Dordrecht 1976; P. Leonardi e M. Santambrogio (a cura di), *On Quine. New Essays*, Cambridge University Press, Cambridge-New York 1995; F. Mondadori, Introduzione a W.V. Quine, *Parola e oggetto*.

to, cit., pp. VII-XVIII; C. Montaleone, *Homo loquens. Persone, contesti, credenze*, Raffaello Cortina, Milano 1998, pp. 59-71; A. Orenstein e P. Kotatko (a cura di), *Knowledge, Language and Logic. Questions for Quine*, Kluwer, Dordrecht 2000; G. Ortigi, *Introduzione a Quine*, Laterza, Roma-Bari 2000; P. Parrini, *Linguaggio e teoria. Due saggi di analisi filosofica*, La Nuova Italia, Firenze 1972; M. Santambrogio, Introduzione a W.V. Quine, *I modi del paradosso*, cit., pp. 9-71; Id. (a cura di), *Introduzione alla filosofia analitica*, Laterza, Roma-Bari 1991; A. Shimony e D. Nails (a cura di), *Naturalistic Epistemology*, Reidel, Dordrecht 1987; N. Vassallo, *La naturalizzazione dell'epistemologia*, Franco Angeli, Milano 1997.



La teoria della verificazione, che ha avuto una parte notevole nella letteratura da Peirce in poi, consiste nell'affermare che il significato di un enunciato è il metodo con cui empiricamente lo confermiamo o lo infirmiamo. Un enunciato analitico rappresenta il caso limite di un enunciato che è confermato quali che siano i dati di fatto. Come si è dimostrato, possiamo benissimo sorvolare sulla questione dei significati come entità e guardare direttamente a quella dell'identità di significato o sinonimia. E allora ciò che la teoria della verificazione dice è che due enunciati sono sinonimi se e solo se il metodo per confermarli o infirmarli empiricamente è lo stesso per entrambi.

In realtà, questa è una spiegazione della sinonimia conoscitiva degli enunciati, ma non delle forme linguistiche in generale. Tuttavia dal concetto di sinonimia degli enunciati potremmo derivare il concetto di sinonimia per le altre forme linguistiche con considerazioni in qualche modo simili a quelle [fatte in precedenza]. Assumendo la nozione di "parola", infatti, potremmo dire che due forme linguistiche qualsiasi sono sinonime quando, sostituendo una forma all'altra in un qualsiasi enunciato (tranne che quando figurino all'interno delle "parole"), si ottiene un enunciato sinonimo a quello dato. Infine, una volta dato così il concetto di sinonimia per le forme linguistiche in generale, potremmo definire l'analiticità in termini di sinonimia e di verità logica [...]. A tal fine, anzi, potremmo più semplicemente definire l'analiticità soltanto in termini di verità logiche e di sinonimia di enunciati: non è necessario ricorrere alla sinonimia di forme linguistiche che non siano enunciati. Si

potrebbe infatti dire che un enunciato è analitico semplicemente quando è sinonimo di un altro enunciato logicamente vero.

Così, se la teoria della verifica potesse venire accettata come una spiegazione adeguata della sinonimia degli enunciati, si potrebbe dopo tutto salvare la nozione di analiticità. Tuttavia, cerchiamo di riflettere. Si dice che la sinonimia degli enunciati consista nell'identità del metodo con cui essi vengono confermati o infirmati empiricamente. Ma cosa sono codesti metodi che si mettono a confronto per scoprirne l'identità? Qual è, in altre parole, la natura del rapporto fra un enunciato e le esperienze che sono a favore o contro la sua conferma?

L'opinione più ingenua è quella secondo cui quel rapporto consisterebbe in una registrazione diretta: questo è ciò che si chiama il *riduzionismo radicale*. Esso afferma che ogni enunciato avente significato è traducibile in un enunciato (vero o falso che sia) verrente su esperienze immediate. Il riduzionismo radicale, in una forma o nell'altra, possiamo dire che anticipi quella teoria del significato chiamata teoria della verifica. Così, Locke e Hume sostenevano che ogni idea dovesse trarre la sua origine direttamente dall'esperienza sensibile oppure essere composta di idee originatesi in tal modo; [...] potremmo riformulare questa teoria in termini semantici dicendo che un termine, per essere affatto significativo, deve essere o il nome di un dato sensoriale o un composto di tali nomi o un'abbreviazione di un tale composto. Enunciata così, codesta teoria presenta ambiguità fra dato sensoriale come evento sensoriale e dato sensoriale come qualità sensoriale; e non ci dice neanche con chiarezza quali siano i modi ammissibili per ottenere un composto. Oltretutto essa è restrittiva in modo intollerabile e del tutto superfluo dal momento che ci impone il compito di una critica per ogni singolo termine. Più ragionevolmente, e senza tuttavia oltrepassare i limiti di ciò che ho chiamato riduzionismo radicale, potremmo prendere come nostre unità significanti gli enunciati in quanto tali e richiedere che essi siano traducibili nella lingua dei dati sensoriali, senza esigere però che siano traducibili termine per termine.

Questa variante sarebbe stata certamente accolta da Locke, da Hume [...], ma storicamente essa ha dovuto aspettare un importante mutamento di prospettiva negli studi semantici, e cioè quando si giunse a considerare veicolo di significato non più il singolo

termine, ma l'enunciato come tale. Questo cambiamento di prospettiva, esplicito in Frege, è implicito nel concetto russelliano di definizione d'uso dei simboli incompleti; ed è anche implicito in quella teoria del significato che è la teoria della verifica, dal momento che oggetto della verifica sono gli enunciati.

Il riduzionismo radicale, concepito ora in funzione degli enunciati, si pone il compito di determinare una lingua dei dati sensoriali e di mostrare come tradurre in essa qualsiasi discorso significativo, enunciato per enunciato. Carnap intraprese una tale opera nel suo *Aufbau*. [...]

Carnap, tuttavia, non parve rendersi conto che il suo trattamento degli oggetti fisici non riusciva a ottenere la riduzione desiderata non soltanto per la sua incompletezza, ma anche in linea di principio. Agli enunciati della forma "La qualità q è al punto-istante x, y, z, t " si dovevano, secondo le sue regole, assegnare valori di verità in modo tale da elevare al massimo e ridurre al minimo certi aspetti globali e, con il procedere dell'esperienza, i valori di verità dovevano venire progressivamente riesaminati con gli stessi criteri. Io credo che questa sia una buona esposizione schematica (di proposito più che semplificata, certamente) di ciò che la scienza realmente fa; ma essa non ci offre nessuna indicazione, neanche la più sommaria, di come un enunciato della forma "La qualità q è a x, y, z, t " possa mai venire tradotto in quella lingua dei dati sensoriali e della logica che Carnap adottava come punto di partenza. La locuzione "è a" rimane una congiunzione supplementare e non definita, le regole ci suggeriscono come usarla, ma non come eliminarla. [...]

Ma il dogma del riduzionismo ha continuato, in una forma meno ingenua e più attenuata, a influenzare il pensiero degli empiristi. Permane la convinzione che a ciascun enunciato, o a ciascun enunciato sintetico, sia associata una e una sola sfera di possibili eventi sensoriali sì che la presenza di uno di questi aumenterebbe le garanzie di veridicità dell'enunciato, e che vi sia associata anche un'altra e un'altra sola sfera di possibili eventi sensoriali la cui presenza diminuirebbe quelle garanzie. Questa convinzione è naturalmente implicita nella teoria della verifica.

Il dogma del riduzionismo sopravvive nella convinzione che ciascun enunciato, preso di per sé e isolato, si possa confermare o infirmare. Il mio parere, al contrario, che discende essenzialmente dalla teoria carnappiana del mondo fisico esposta nell'*Aufbau*, è

che i nostri enunciati sul mondo esterno si sottopongono al tribunale dell'esperienza sensibile non individualmente ma solo come un insieme solido.

Il dogma del riduzionismo, anche in questa sua forma attenuata, è connesso intimamente con l'altro dogma – cioè quello per cui vi sarebbe una differenza essenziale tra l'analitico e il sintetico. E di fatto quest'ultimo problema ci ha condotti al primo attraverso la teoria della verificazione. Più esattamente, il primo dogma sostiene chiaramente il secondo nel modo seguente: finché si ritiene che abbia significato in generale parlare di confermare o infirmare un enunciato, sembra che abbia significato anche parlare di un caso limite di enunciato confermato in modo vuoto, *ipso facto*, quali che siano i dati di fatto; e questo sarebbe un enunciato analitico.

I due dogmi hanno in effetti una radice comune. Poco fa abbiamo detto che in generale la verità degli enunciati dipende ovviamente da fatti sia linguistici sia extralinguistici; e abbiamo notato come ciò provochi, non da un punto di vista logico ma del tutto istintivamente, l'impressione che la verità di un enunciato sia in qualche modo analizzabile in una componente linguistica e in una componente fattuale. La componente fattuale deve, se siamo empiristi, ridursi a una gamma di esperienze di conferma. Nel caso limite in cui la componente linguistica è la sola che conti, un enunciato vero è analitico. Ma ormai siamo tutti convinti, spero, che non si possa assolutamente riuscire a tracciare una netta distinzione tra analitico e sintetico. Ed è anche notevole, a mio parere, a parte gli esempi prefabbricati delle palte bianche e nere in un'urna, quanto sia stato sempre sconcertante il problema di arrivare a definire chiaramente una qualsiasi teoria della conferma empirica di un enunciato sintetico. A questo punto, perciò, vorrei suggerire che non ha alcun senso, e ha causato invece molte assurdità, parlare di una componente linguistica e di una componente fattuale nella verità di un qualsiasi singolo enunciato. Presa nel suo insieme, la scienza dipende dalla lingua e dalla esperienza a un tempo; ma ciò non significa che si possa dire altrettanto di ciascun enunciato della scienza preso singolarmente.

L'idea della definizione d'uso di un simbolo, come è stato sottolineato, ha costituito un passo avanti rispetto all'assurdo empirismo, diretto a ogni singolo termine, di Locke e di Hume. Con Frege si giunse a riconoscere che era l'enunciato, e non il singolo

termine, ciò che una critica empirista doveva considerare come unità. Ma io sostengo che anche questa è una rete a maglie troppo strette: l'unità di misura della significanza empirica è tutta la scienza nella sua globalità.

Tutte le nostre cosiddette conoscenze o convinzioni, dalle più fortunate questioni di geografia e di storia alle leggi più profonde della fisica atomica o financo della matematica pura e della logica, tutto è un edificio fatto dall'uomo che tocca l'esperienza solo lungo i suoi margini. O, per mutare immagine, la scienza nella sua globalità è come un campo di forza i cui punti limite sono l'esperienza. Un disaccordo con l'esperienza alla periferia provoca un riordinamento all'interno del campo; si devono riassegnare certi valori di verità ad alcuni nostri enunciati. Una nuova valutazione di certi enunciati implica una nuova valutazione di altri a causa delle loro reciproche connessioni logiche – mentre le leggi logiche sono soltanto, a loro volta, certi altri enunciati del sistema, certi altri elementi del campo. Una volta data una nuova valutazione di un certo enunciato dobbiamo darne un'altra anche a certi altri, che possono essere enunciati logicamente connessi con il primo o essi stessi enunciati di connessioni logiche. Ma l'intero campo è determinato dai suoi punti limite, cioè l'esperienza, in modo così vago che rimane sempre una notevole libertà di scelta per decidere quali siano gli enunciati di cui si debba dare una nuova valutazione alla luce di una certa particolare esperienza contraria. Un'esperienza particolare non è mai vincolata a nessun enunciato particolare all'interno del campo tranne che indirettamente, per delle esigenze di equilibrio che interessano il campo nella sua globalità.

Se tutto ciò è giusto, non è affatto corretto parlare del contenuto empirico di un certo enunciato particolare – specialmente se si tratta di un enunciato molto lontano dalla periferia del campo. Inoltre diventa assurdo cercare una qualsiasi linea di demarcazione fra enunciati sintetici, che si fondano sull'esperienza contingente, ed enunciati analitici, che valgono quali che siano i dati dell'esperienza. Tutti gli enunciati si potrebbero far valere in tal modo se facessimo delle rettifiche sufficientemente drastiche in qualche altra parte del sistema. Persino un enunciato molto vicino alla periferia si potrebbe ritenere vero, malgrado qualsiasi esperienza contraria, adducendo a pretesto un'allucinazione o modificando alcuni di quegli enunciati che si chiamano leggi logiche. Analogamen-

te, per converso, nessun enunciato è immune, per le stesse ragioni, da correzioni. Si è perfino proposto di modificare la legge logica del terzo escluso come un mezzo per semplificare la meccanica quantistica; e che differenza c'è in linea di principio fra una modifica del genere e quella per cui Keplero ha preso il posto di Tolomeo, Einstein quello di Newton o Darwin quello di Aristotele?

[...]

Come empirista io continuo a considerare lo schema concettuale della scienza come un mezzo, in ultima analisi, per predire l'esperienza futura alla luce dell'esperienza passata. Gli oggetti fisici vengono concettualmente introdotti nella situazione come comodi intermediari – non definendoli in termini di esperienza, ma come semplici postulati non riducibili, paragonabili, da un punto di vista epistemologico, agli Dei di Omero. Io, che di fisica ho nozioni più che comuni, credo per parte mia negli oggetti fisici e non negli Dei di Omero; e considero un errore scientifico credere altrimenti. Ma in quanto a fondamento epistemologico, gli oggetti fisici e gli Dei differiscono solo per grado e non per natura. Sia l'uno sia l'altro tipo di entità entrano nella nostra concezione soltanto come postulati culturali. Da un punto di vista epistemologico il mito degli oggetti fisici è superiore agli altri nel fatto che si è dimostrato più efficace come mezzo per elevare una semplice costruzione nel flusso dell'esperienza.

E non ci fermiamo a postulare soltanto gli oggetti fisici del mondo macroscopico. Si postulano degli oggetti anche a livello atomico per rendere più semplici e più comode le leggi degli oggetti macroscopici e, in definitiva, le leggi dell'esperienza; e non dobbiamo aspettarci né pretendere una definizione esauriente delle entità atomiche e subatomiche in termini di quelle macroscopiche, più di quanto non pretendiamo una definizione degli oggetti macroscopici in termini di dati sensoriali. La scienza è un prolungamento del senso comune e si serve dello stesso espediente del senso comune: amplia l'ontologia per semplificare la teoria. Gli oggetti fisici, piccoli o grandi che siano, non sono i soli postulati; un altro esempio è costituito dalle forze; e in realtà oggi la scienza ci dice che la discriminazione fra energia e materia è ormai antiquata.

Carl Gustav Hempel

Causalità e spiegazione: dalla natura alla storia

“La funzione principale delle leggi generali nelle scienze naturali è quella di connettere eventi in argomentazioni alle quali usualmente ci si riferisce con i nomi di spiegazione e di predizione. La spiegazione dell'accadimento di un evento di un certo specifico tipo in un dato luogo e tempo consiste [...] nell'indicare le cause e i fattori che determinano quel tipo di evento. Ma l'asserzione che un insieme di eventi, cioè di eventi di vari tipi [...], ha causato l'evento da spiegare dipende dall'enunciato per cui in accordo con certe leggi generali un insieme di eventi dei tipi menzionati è regolarmente accompagnato da un evento del tipo [dell'evento da spiegare].” Con queste parole Carl Gustav Hempel (1905-1997) precisa la propria concezione della spiegazione scientifica nelle battute iniziali di “The Function of General Laws in History”, pubblicato nel 1942 sul *Journal of Philosophy* e destinato a suscitare un intenso dibattito, nel mondo anglosassone ma non solo, sull'impiego nell'analisi storica del modello esplicativo delle scienze naturali.

Formatosi inizialmente alla scuola di David Hilbert (1862-1943) a Göttinga, Hempel prosegue gli studi a Heidelberg e a Vienna, dove ha modo di ascoltare le lezioni di Moritz Schlick e Rudolf Carnap e di partecipare agli incontri del Circolo; si addottora (1934) a Berlino sotto la guida di Hans Reichenbach ed entra nell'orbita della *Gesellschaft für wissenschaftliche Philosophie*. L'avvento del nazismo lo costringe a ripartire prima in Belgio e in seguito negli Stati Uniti, dove ricoprirà incarichi di prestigio: presso le Università di Yale e di Princeton. Pur aderendo alle istanze di fondo dell'empirismo logico, Hempel nel corso della sua riflessione filosofica matura una radicale presa di distanza dalla concezione della verifica di Schlick (vedi pp. 210-212), senza risparmiare al contempo l'idea del primo Carnap (vedi p. 217) di ricondurre l'intera conoscenza scientifica ai singoli dati di senso. Come scriverà nel 1952, una teoria scientifica è “paragonabile a una complessa rete sospesa nello spazio. I suoi termini sono rappresentati dai nodi mentre i fili che li collegano corrispondono, in parte, alle definizioni, 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 d'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-teoria 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 punto dell'osservazione. Per alcuni versi l'immagine hempeliana della rete – che escludendo una corrispondenza biunivoca tra termini teorici e famiglie di termini osservativi finisce per attenuare l'antimetaffisica della prima ora dei circoli di Vienna e di Berlino – sembra anticipare la nozione di paradigma di Thomas Kuhn (il quale, dal canto suo, non farà mistero del proprio debito nei confronti di Hempel). D'altra parte, gli studi sulla probabilità e sull'induzione (stimolati in origine da Reichenbach) avevano spinto Hempel a negare l'esistenza di "regole induttive" mediante le quali poter inferire "in modo meccanico" ipotesi o teorie a partire dai dati empirici e a far propria una concezione del metodo scientifico che, in analogia alla visione popperiana (vedi p. 246), ma anche in esplicito riferimento alle idee di Whewell (vedi p. 50), riconosce il ruolo decisivo dell'"immaginazione" nella formulazione delle "congetture" (che può essere influenzata da nozioni scientificamente discutibili, come testimonia lo "studio di Keplero sul moto dei pianeti [che] fu ispirato dal suo interesse per una dottrina mistica dei numeri e da un vivo desiderio di dimostrare la musica delle sfere"), ma al contempo individua nel loro "minuzioso esame critico" la condizione per la salvaguardia "dell'obiettività scientifica". Coerentemente con tale impostazione Hempel sviluppa, nella sua fase americana, un'articolata spiegazione della nozione di conferma che fa da contraltare all'approccio quantitativo sviluppato da Carnap. Già nel 1936 (vedi p. 219) questi aveva riconosciuto l'impossibilità di una verifica conclusiva tanto degli enunciati universali quanto di quelli particolari, rivalutando il criterio neopositivistico di significanza empirica (vedi p. 201) in termini di *confermabilità* (completa o incompleta) e di *controllabilità*. "Come empiristi richiediamo che il linguaggio della scienza sia ristretto in un determinato modo [...] ogni enunciato sintetico deve essere confermabile [...] e questo] è sufficiente per escludere tutti gli enunciati che non hanno natura empirica, per esempio gli enunciati della metafisica trascendentalista, in quanto non sono confermabili neppure in maniera incompleta." Ma come intendere la conferma? L'idea di Carnap si focalizza su un approccio *quantitativo* (sviluppato soprattutto in *Logical Foundations of Probability*, 1950) che servendosi di strumenti logici e probabilistici determini i "gradi di conferma" di una data ipotesi *H* rispetto all'evidenza empirica *E*, così da poter stabilire tra ipotesi rivali quella che dovrebbe essere considerata confermata in misura maggiore. Di avviso diverso è Hempel, il quale, in un saggio del 1945, ritiene che prima di poter parlare di gradi di conferma sia necessario chiarire filosoficamente la nozione

stessa di conferma. Hempel considera cioè prioritaria una trattazione *qualitativa* del concetto in questione nella convinzione (rafforzata, a suo dire, dalle difficoltà dell'indagine quantitativa) che solo dopo aver risolto il problema di una "definizione precisa dei concetti di istanza confermate e di istanza disconfermate" sia possibile "procedere a definire gradi numerici di conferma o a fornire standard non metrici di confronto". E che non sia cosa banale, una volta deciso l'enunciato da confermare, dire quale sia un caso confermatore è evidenziato da quello che Nelson Goodman (1906-1998) definirà (1954) "l'infame Paradosso dei corvi". Si consideri l'enunciato "Tutti i corvi sono neri". Esso è logicamente equivalente all'enunciato "Tutte le cose non nere sono non corvi". Perché la conferma di un enunciato non dipenda, oltre che dal suo "contenuto", dalla sua "formulazione", occorre per Hempel aggiungere la *condizione di equivalenza* per cui "Tutto ciò che conferma (disconferma) uno dei due enunciati equivalenti, conferma (disconferma) anche l'altro". In tal modo, però, tutto ciò che è non corvo e non nero (per esempio, una macchina rossa, una penna gialla, una scarpa verde) conferma l'enunciato "Tutti i corvi sono neri". Il paradosso, a detta di Hempel, potrebbe essere evitato ridefinendo il *criterio di conferma* in modo che soddisfi opportune condizioni di adeguatezza e che consenta di ritenere "un'ipotesi [...] confermata da un dato resoconto osservativo se [essa] è soddisfatta nella classe finita di quegli individui che sono menzionati nel resoconto". Tuttavia, nonostante gli sforzi di Hempel, anche il suo criterio doveva ben presto andare incontro a difficoltà, risultando al contempo troppo permissivo e troppo restrittivo. Troppo *permissivo*, in quanto non eliminava del tutto situazioni paradossali; troppo *restrittivo*, poiché si limitava soltanto a linguaggi del primo ordine senza identità aventi unicamente predicati osservativi, sicché non offriva la possibilità di confermare enunciati teorici, ossia buona parte degli enunciati scientifici. Inoltre, come riconoscerà lo stesso Hempel nel suo "Postscript on Confirmation" (1964): "1. Nessuna ipotesi scientifica che implica l'esistenza di un numero infinito di oggetti può essere verificata, in quanto si è affermato che lo sviluppo dell'ipotesi da confermare deve essere relativo a una classe finita di elementi. [...] 2. Ci sono resoconti osservativi che usualmente sono considerati confermati ma che per il criterio non lo sono".

Tornando al problema della spiegazione, va evidenziata la stretta analogia fra quanto proposto da Hempel nel lavoro del 1942 (e poi sviluppato con Paul Oppenheim in un saggio del 1948) e quanto indicato da Popper (vedi p. 255). Secondo il "modello Hempel-Oppenheim" (detto anche "modello nomologico-deduttivo" o "modello a leggi di copertura") un evento viene spiegato solo se l'asserto che lo descrive (*explanandum*) può essere logicamente inferito da premesse (*explanans*) che consistono in asserti ben confermati altrettanto ben confermate, ossia le cosiddette "leggi di copertura". La proposta di Hempel e Oppenheim ha avuto il merito di aprire un filone di ri-

cerca assai fecondo che dura ancora oggi e che ha come scopo quello di elaborare modelli di spiegazione nelle scienze naturali. Ma per Hempel un tale approccio deve essere seguito anche nell'analisi della spiegazione storica: spiegare un *evento* significa, infatti, "mostrare che l'evento in questione non era 'qualcosa di accidentale', ma era da attendersi in base a certe condizioni antecedenti e simultanee", dove tale "aspettativa" non rivela i tratti della "divinazione", ma poggia sull'"assunzione di leggi generali". Certo, quelle storiche più che "spiegazioni" sono "abbozzi di spiegazioni", in quanto le leggi in questione – che per Hempel come per il Popper di *Misericordia dello storicismo* (1945) non sono *storiche* nell'accezione propria del termine, ma rinviano alle discipline più disparate, dalla biologia alla psicologia, dalla sociologia all'economia ecc., dato che la ricostruzione storiografica non può prescindere dal considerare il comportamento osservabile di gruppi umani, nonché i fattori fisico-ambientali in cui esso si situa – non possiedono il rigore formale proprio delle leggi naturali, esprimendo "regolarità" dotate di un livello di probabilità statistico; e tuttavia, per Hempel è sempre possibile ridurre quegli "abbozzi" al tipo ideale, mostrando che la loro portata esplicativa dipende dalla forma logica alla base delle spiegazioni fisiche. Anzi, proprio questa possibilità permette di elaborare l'appello all'unità della scienza formulato nel manifesto del Circolo di Vienna (vedi p. 203). In ogni caso viene meno il ricorso alla tradizionale "immedesimazione empatica" nelle azioni del soggetto indagato, con tutte le implicazioni metafisiche che essa comportava: ancora difesa da Robin George Collingwood (1889-1943) quale unico strumento della conoscenza storica, è bollata da Hempel come "semplifiche espediente euristiche", tutt'al più utile al rinvenimento delle cause, ma irrilevante per la "spiegazione" dell'evento.

Come si è detto, le reazioni alla proposta hempeliana non mancarono. Per esempio, pur accettando il modello di Hempel, Patrick Gardiner cercò di mostrare in *The Nature of Historical Explanation* (1952), mediante un'indagine dei diversi contesti linguistici legati ai differenti interessi e scopi di ricerca, la legittimità sia della spiegazione causale sia di quella basata sui motivi o le intenzioni degli agenti, così da "conservare l'autonomia della storia come disciplina a sé stante, senza per questo aderire a una concezione dell'esperienza [...] divisa in mondi nettamente separati" e fondata su presupposti metafisici. Ma l'affondo più significativo doveva venire da William Dray. Nelle pagine qui riportate Hempel ribatte colpo su colpo alle obiezioni di quest'ultimo, mostrando come il suo approccio "ragioni per l'azione" finisca per non spiegare affatto ciò che si era proposto.

Le pagine che seguono sono tratte da C.G. Hempel, "Reasons and Covering Laws in Historical Explanation", in S. Hook (a cura di), *Philosophy and History*, New York University Press, New York 1963; tr. it. in D. Aniseri e C.G. Hempel, *Come lavora uno storico*, Armando, Roma 1997, pp. 84-90, 100-103, 105-106.

Di Hempel si vedano anche: "The Function of General Laws in History", in *Journal of Philosophy*, 39 (1942), pp. 35-48; "Studies in the Logic of Confirmation", in *Mind*, 54 (1945), pp. 1-26, 97-121; C.G. Hempel e P. Oppenheim, "Studies in the Logic of Explanation", in *Philosophy of Science*, 15 (1948), pp. 135-175; *La formazione dei concetti e delle teorie nella scienza empirica* (1952/1958), tr. it. a cura di A. Pasquinelli, Feltrinelli, Milano 1970; *Filosofia delle scienze naturali* (1966), tr. it. a cura di A. Pasquinelli, il Mulino, Bologna 1968; *Aspetti della spiegazione scientifica e altri saggi di filosofia della scienza*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1986; *Oltre il positivismo logico: saggi e ricordi*, tr. it. a cura di G. Rigamonti, Armando, Roma 1989.

Per approfondire: D. Aniseri, *Epistemologia contemporanea e didattica della storia*, Armando, Roma 1974; Id., *Epistemologia e didattica delle scienze*, Armando, Roma 1976; Id., "Epistemologia della storiografia", in C.G. Hempel e D. Aniseri, *Come lavora uno storico*, cit., pp. 11-79; A. Danto, *Filosofia analitica della storia*, tr. it. il Mulino, Bologna 1971; D. Davidson, "Hempel on Explaining Action", in *Erkenntnis*, 10 (1976), pp. 239-253; W. Dray (a cura di), *Philosophical Analysis in History*, Harper and Row, New York 1966; Id., *Leggi e spiegazione in storia*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1974; Id., *Filosofia e conoscenza storica*, tr. it. a cura di A. Santucci, il Mulino, Bologna 1969; P. Gardiner, *La spiegazione storica*, tr. it. Armando, Roma 1978; N. Goodman, *Fatti, ipotesi e previsioni*, prefazione di H. Putnam, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1985; M.V. Predaval Maggini (a cura di), *Filosofia analitica e conoscenza storica*, La Nuova Italia, Firenze 1979; N. Rescher (a cura di), *Essays in Honor of Carl G. Hempel*, Reidel, Dordrecht 1969; Paolo Rossi, *Storia e filosofia*, Einaudi, Torino 1969; Pietro Rossi, "Teoria della storia e metodologia storiografica nel pensiero inglese contemporaneo", in *Rivista storica italiana*, 66 (1954), pp. 68-81; W.C. Salmon, *Quarant'anni di spiegazione scientifica*, tr. it. Muzzio, Padova 1992; I. Scheffler, *L'antonomia della ricerca*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1972; R. Simili, *La spiegazione nel discorso storico. Il modello di Carl Gustav Hempel*, Clueb, Bologna 1981; Id. (a cura di), *La spiegazione storica*, Pratiche Editrice, Parma 1984; G.H. von Wright, *Spiegazione e comprensione*, tr. it. il Mulino, Bologna 1988.



Nel suo libro Dray ha usato l'espressione "modello della legge di copertura" per riferirsi alla costruzione di una spiegazione intesa come una deduzione a partire da leggi di copertura. In una spiegazione di questo tipo, un dato fenomeno empirico – in questo saggio parlerò di tale fenomeno empirico come di un evento particolare – è spiegato [accounted for] con la deduzione dell'ex-

planandum, cioè dell'enunciato che descrive l'evento in questione, da un insieme di altri enunciati, chiamato *explanans*. Questo insieme consiste di alcune leggi generali e di enunciati descrittivi certi fatti o condizioni particolari, che normalmente sono antecedenti e/o simultanei all'evento da spiegare. In una spiegazione causale – tanto per menzionare un'importante specie di spiegazione deduttiva per opera di leggi di copertura – un evento individuale (per esempio, l'aumento di volume di una particolare massa di gas in un determinato spazio e tempo) è presentato come l'"effetto" di certi altri particolari eventi e condizioni (per esempio, l'aumento della temperatura della massa di gas sotto la condizione della pressione costante) da cui risulta (dalla cui realizzazione si può inferire il suo verificarsi) in accordo con determinate leggi generali (per esempio, le leggi dei gas).

Nelle spiegazioni di tipo deduttivo o "nomologico-deduttivo" le leggi di copertura sono tutte di forma strettamente universale; e ciò significa, parlando schematicamente, che esse sono enunciati stabili che in *tutti* i casi in cui è soddisfatto un certo complesso *F* di condizioni, allora si avrà un evento o una situazione [*state*] di tipo *G*.

Ma c'è pure un secondo tipo di spiegazione, del tutto differente dal punto di vista logico, da quello appena descritto. Si tratta di un tipo di spiegazione che svolge un importante ruolo in varie branche della scienza empirica, e che io, parimenti, chiamerò "spiegazione mediante leggi di copertura". Il tratto distintivo di questo secondo tipo di spiegazione, cui Dray fa una breve allusione nel suo saggio, è che alcune delle leggi di copertura sono di forma probabilistico-statistica. Nel caso più semplice, una legge di questa forma è un enunciato stabile che, sotto condizioni di tipo *p* più o meno complesso *F*, si avrà l'occorrenza dell'evento o "esito" di tipo *G*; con probabilità statistica (cioè, in parole povere: con una frequenza relativa su lunghe serie) *q*; [...]. Se la probabilità *q* si avvicina a 1, una legge di questo tipo può venire invocata per spiegare l'occorrenza di *G* in un dato particolare caso in cui sono realizzate le condizioni *F*. A mo' di semplice illustrazione, supponiamo che lanciando insieme quattro dadi, il numero totale dei punti usciti sia maggiore di 4. Questo si potrebbe spiegare per merito della seguente informazione (la cui correttezza fattuale è, ovviamente, una questione empirica e soggetta a con-

trollo empirico; potrebbe non essere vera, per esempio, se uno dei dadi fosse truccato): (i) per ognuno dei dadi, la probabilità statistica che esca una qualsiasi particolare faccia come risultato di un lancio è la stessa per tutte le facce e (ii) risultati ottenuti con un singolo dado, lanciato insieme agli altri, sono statisticamente indipendenti; così che la probabilità statistica per un lancio congiunto di tutti e quattro i dadi di ottenere un totale maggiore di 4 punti è $1295/1296 = 0,9992...$

Questo asserito di probabilità generale, combinato con l'informazione che la particolare occorrenza in considerazione, chiamamola *I*, era un caso di lancio congiunto dei quattro dadi, non implica logicamente che nel particolare caso *I* il numero totale dei punti usciti sarà maggiore di 4: ma le due asserzioni offrono forti basi induttive, o un forte supporto induttivo o, come talvolta si dice, un'alta probabilità induttiva, per assumere o aspettarsi [che il numero totale dei punti sia maggiore di 4...].

La probabilità che l'*explanans* si dice qui conferire all'*explanandum* chiaramente non è di tipo statistico; essa non rappresenta una relazione quantitativa empiricamente determinata tra due tipi di eventi [...]; si tratta piuttosto di una relazione logica tra due asseriti – nel nostro caso tra la congiunzione degli enunciati dell'*explanans* da una parte e l'asserito dell'*explanandum* dall'altra. [...]

I due tipi di spiegazione mediante leggi di copertura hanno questa caratteristica in comune: essi spiegano un evento mostrando che, in relazione a certe particolari circostanze e a leggi generali, il suo verificarsi era da attendersi (in un senso puramente logico) o con certezza deduttiva o con probabilità induttiva. [...]

[...] Tali concetti di spiegazione mediante leggi di copertura [...] concernono la logica, e non la psicologia della spiegazione, proprio come il concetto metamatematico di dimostrazione si riferisce alla logica, e non alla psicologia. [...]

E dal momento che le dimostrazioni e le spiegazioni offerte dai matematici e dagli scienziati nei loro scritti, lezioni e conversazioni informali sono normalmente formulate avendo in testa un certo tipo di pubblico, esse sono di conseguenza ellittiche in vari gradi. Ma questo sicuramente non mostra che tentativi di costruire concetti di dimostrazione e di spiegazione non pragmatici, ma metateorici sono o errati di principio o in ogni caso destinati a essere non illuminanti o teoricamente infruttuosi.

Nel caso della teoria della dimostrazione accade il contrario. E mentre la teoria logica della spiegazione non può pretendere risultati comparabili in profondità e importanza a quelli della recente teoria della dimostrazione, essa ha tuttavia condotto a significativi esiti. [...]

Come ho detto poco sopra, i resoconti esplicativi effettivamente offerti dai ricercatori nei diversi campi dell'indagine empirica, dalla fisica alla ricerca storica, spesso non rispettano le [usuali] condizioni di adeguatezza [...], e tuttavia tali resoconti risultano intuitivamente soddisfacenti. È ovvio che nel valutare l'adeguatezza logica di una data spiegazione noi dobbiamo esser chiari nel prendere in considerazione non soltanto quel che essa ci dice nell'*explanans*, ma anche ciò che essa omette come non meritevole di menzione, in quanto tacitamente dato per garantito e scontato. Naturalmente, non è compito di una teoria logica della spiegazione dirci come eseguire una valutazione di questo tipo – non più di quanto sia compito di una teoria logica dell'inferenza dirci come giudicare se un certo argomento, il quale non riesce a conformarsi agli standard formali di validità deduttiva, sia da qualificare come invalido o deduttivamente valido ma formulato ellitticamente. Il parallelo con il caso della dimostrazione matematica è chiaro.

[...]

Secondo Dray lo scopo dello spiegare un'azione mediante il riferimento a ragioni per cui essa fu fatta è "mostrare che quel che fu fatto era la cosa da fare per le ragioni date, piuttosto che semplicemente la cosa che si fa in simili occasioni, forse in accordo con certe leggi". Le ragioni esplicative includeranno gli obiettivi che l'agente cercò di ottenere e le sue credenze concernenti realtà [*matters*] empiriche rilevanti, come gli sviluppi alternativi dell'azione aperti a lui e le loro probabili conseguenze. La spiegazione, ad avviso di Dray, offre allora "una ricostruzione del *calcolo* dell'agente dei mezzi da adottare nei confronti del fine che egli si è proposto alla luce delle circostanze in cui egli si trovò", e mostra che la scelta dell'agente era appropriata, che essa era la cosa da fare in quelle circostanze. Siffatta valutazione dell'appropriatezza di ciò che fu fatto presuppone non leggi generali, ma ciò che Dray chiama un "principio di azione", cioè un principio normativo o valutativo della forma: "In una situazione di tipo C, la cosa da fare è X".

Prima di considerare la questione centrale se, o in che senso, principi di questo tipo possano spiegare un'azione, mi preme richiamare l'attenzione su ciò che mi sembra l'assunto problematico sottostante al concetto di Dray di un principio di azione. Come suggerito dall'espressione "la cosa da fare", Dray sembra assumere (i) che, data la specificazione delle circostanze in cui un agente si trova (inclusi, naturalmente, in particolare i suoi obiettivi e le sue credenze), c'è un chiaro e inequivocabile senso in cui un'azione può dirsi essere appropriata, o ragionevole, o razionale date quelle circostanze; e (ii) che, almeno in molti casi, c'è esattamente uno sviluppo dell'azione che è appropriato in questo senso. In effetti, Dray sostiene che sotto questo riguardo la spiegazione razionale è superiore alla spiegazione statistica poiché la questione del perché un'azione era da fare permette spesso una risposta che implica l'esclusione razionale di tutte le possibili alternative – un risultato questo che non può esser raggiunto in una spiegazione probabilistica. Ma le due assunzioni ora elencate mi paiono prive di fondamento, per lo meno, discutibili. Innanzitutto, non è per niente chiaro attraverso quali criteri di razionalità è da caratterizzare in una data situazione "la cosa da fare". Molti autori contemporanei, mentre assumono che c'è un chiaro concetto di razionalità nel senso sopra richiesto, non ne hanno però proposto alcuna definizione esplicita, e i dubbi sulla possibilità di formulare criteri generali di razionalità sono accresciuti dalla teoria matematica delle decisioni che mostra che persino per certi tipi piuttosto semplici di situazione-di-decisione possono venire formulati parecchi differenti criteri di scelta razionale, ognuno dei quali è del tutto plausibile e tuttavia incompatibile con le sue alternative. E se le cose stanno così nei casi semplici, allora il concetto della cosa da fare in determinate circostanze deve essere visto come ancor più problematico allorché lo si applichi ai tipi di decisioni e di azioni che lo storico cerca di spiegare. Io penso, perciò, che i presupposti che stanno dietro all'idea di un principio di azione richiedano un'ulteriore elaborazione e analisi.

In ogni caso, per non complicare il resto della mia discussione, non considererò questa difficoltà e assumerò, per l'interesse del ragionamento, che il supposto significato dell'espressione "X è la cosa appropriata, o razionale, da fare nelle circostanze di tipo C", sia stato adeguatamente specificato per mezzo di criteri oggettivi e che su di esso ci si sia messi d'accordo.

Il problema che dobbiamo ora considerare è il seguente: in che modo un principio d'azione può svolgere una funzione esplicativa? La concezione di Dray sembra suggerire che una spiegazione razionale del perché un agente *A* ha fatto *X* dovrebbe assumere la forma seguente:

- L'agente *A* era in una situazione di tipo *C*.
- Allorché si dà una situazione di tipo *C*, la cosa da fare è *X*.
- Dunque, l'agente *A* ha fatto *X*.

La prima asserzione nell'*explanans* specifica certe condizioni antecedenti; la seconda è un principio di azione il quale tiene il posto che, in una spiegazione mediante leggi di copertura, è tenuto da un insieme di leggi generali.

Così concepita, la logica della spiegazione razionale differisce in realtà in maniera decisiva da quella della spiegazione mediante leggi di copertura. Ma proprio a motivo della caratteristica che costituisce la differenza tra le due spiegazioni, io sostengo che la spiegazione razionale non può spiegare perché *A* abbia fatto *X*. E ciò perché, in base alle condizioni generali di adeguatezza [...], un *explanans* adeguato a spiegare *perché A abbia fatto X* deve addurre buone ragioni per la credenza o l'asserzione che *A* ha davvero fatto *X*. Ma mentre l'*explanans* ora formulato adduce buoni fondamenti per asserire che la cosa appropriata da fare per *A* in quelle circostanze era *X*, esso non offre buone ragioni per asserire o credere che *A* ha davvero fatto *X*.

Per giustificare questa ultima asserzione, l'*explanans* dovrebbe includere un'asserzione ulteriore, stabilente che nel tempo in questione *A* era un agente razionale, e che perciò era disposto a fare quel che era appropriato nella situazione data. Modificato di conseguenza, il nostro *explanans* assume una forma che può essere schematizzata come segue:

- L'agente *A* era in una situazione di tipo *C*.
- In quel tempo egli era un agente razionale.
- Ogni agente razionale quando è in una situazione di tipo *C*, invariabilmente (o con un'alta probabilità) farà *X*.

E allora il nostro *explanans* implicherà logicamente (o conferirà un'alta probabilità induttiva) all'*explanandum*:

- *A* ha fatto *X*.

Modificata in questa maniera, l'argomentazione offrirà una spiegazione del perché *A* ha davvero fatto *X*. Ma la sua adeguatez-

za a questo scopo è stata ottenuta rimpiazzando il valutativo principio di azione di Dray con un principio descrittivo che stabilisce che cosa gli agenti razionali faranno in una situazione di tipo *C*. Il risultato è una spiegazione per mezzo di leggi di copertura, spiegazione che sarà deduttiva o induttiva a seconda che l'enunciato generale sul comportamento degli agenti razionali sia di forma strettamente universale o di forma statistico-probabilistica. Questo modello di spiegazione a opera di ragioni è evidentemente analogo alla concezione di Ryle; e ciò perché esso presenta l'azione di *A*, per così dire, come una manifestazione della sua disposizione generale ad agire in modi caratteristici – in modi che si qualificano come appropriati o razionali – allorché si è in certe situazioni. [...]

Potrebbe ora sorgere il sospetto che, argomentando per un'analisi disposizionale che presenti le spiegazioni per mezzo di ragioni come aventi fondamentalmente la struttura logica di uno o dell'altro dei modelli di leggi di copertura, noi stiamo violando una massima che Dray giustamente ci ricorda nel suo saggio, e cioè che un'analisi logica seria deve guardarsi dal forzare la spiegazione sul letto di Procuste di uno schema generale preconcetto e che invece essa deve attentamente registrare la pratica che generalmente si sostiene essere accettabile all'interno della disciplina in questione; che essa deve mostrare sensibilità per il concetto di spiegazione che gli storici normalmente usano. Senza dubbio uno storico che adduce le presunte ragioni di un agente per spiegare le azioni di costui, può concepire come suo principale compito il mostrare che, alla luce di quelle ragioni, l'azione era la cosa appropriata da fare. Ma nel proporre il suo resoconto, lo storico fuori di ogni discussione intende anche mostrare perché di fatto l'agente agì come agì – per esempio, tanto per prendere quello citato da Dray, perché Luigi XIV di fatto ritirò la pressione militare dall'Olanda. E a questo interrogativo non si può rispondere mostrando che l'azione era una (o addirittura "la") cosa ragionevole da fare, dati gli obiettivi e le credenze di Luigi XIV; poiché, dopo tutto, molti agenti in molte occasioni non fanno di fatto la cosa razionale. [...] Dray, a questo proposito, conviene che un'azione umana può allontanarsi dall'ideale di razionalità e ribadisce di pretendere soltanto che il criterio di appropriatezza razionale funzioni per azioni che non sono giudicate essere manchevoli in un modo o nell'altro. Ma è questo, secondo me, il punto cruciale:

se una spiegazione per mezzo di ragioni invoca standard di razionalità, allora, per avere la forza esplicativa desiderata, deve addurre inoltre l'assunzione empirica che l'azione non era manchevole sotto aspetti rilevanti, vale a dire che l'agente a quel tempo era disposto ad agire in accordo con gli standard stabiliti, e che le circostanze esterne non gli impedirono di agire così.

E mi pare chiaro che uno storico non vede l'importanza dell'esplicitare l'appropriatezza o la razionalità di un'azione se egli non assume che l'agente, al tempo in questione, era disposto ad agire razionalmente (come se egli non potesse essere in condizioni di estremo superlavoro, sotto un severo sforzo emozionale, sotto l'influenza di droghe, e così via). Dal momento che, in questa spiegazione per mezzo di ragioni, tale presupposizione essenziale viene normalmente data per garantita, essa non sarà, di regola, esplicitamente menzionata; è piuttosto quando si considerano gli allontanamenti dalla razionalità che si avverte esplicitamente la necessità di specificare le circostanze di disturbo. Ma mentre una formulazione ellittica che rinuncia all'esplicita menzione dell'assunzione di razionalità può esser del tutto soddisfacente per scopi pratici, cioè nel contesto psicologico-pragmatico della spiegazione, essa oscura la logica dell'argomentazione esplicativa; e sicuramente, un'analisi che renda esplicita l'assunzione sottostante il resoconto dello storico non porta per questo il metodo della spiegazione per mezzo di ragioni sul letto di Procuste.

Thomas Samuel Kuhn

La funzione del dogma

Come ebbe a dire una volta Werner Heisenberg (1901-1976), una tradizione scientifica "è premessa e insieme impedimento alla crescita" della conoscenza, e ciò spiega "perché si tardi tanto ad accettare i concetti nuovi". In questa "tensione essenziale" tra conservazione e innovazione, però, anche gli scienziati "rivoluzionari" si rivelano non meno dogmatici dei loro avversari. Tuttavia, per Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) tale *funzione del dogma nella ricerca scientifica* costituisce una caratteristica positiva nell'articolazione della scienza, senza la quale non vi sarebbe nemmeno il riconoscimento istituzionale delle varie discipline. Debitore dal punto di vista intellettuale di alcuni grandi maestri del neopositivismo emigrati negli Stati Uniti come Rudolf Carnap e, soprattutto, Carl Gustav Hempel, ma anche in confronto critico con Karl Popper, Kuhn pubblica nel 1962 uno dei volumi più famosi della filosofia della scienza in lingua inglese della seconda metà del Novecento, *The Structure of Scientific Revolutions*, uscito originariamente come ultimo dei *Foundamentals* dell'*Encyclopedia of Unified Science* voluta proprio dai neopositivisti di Chicago. In questa monografia Kuhn sottolinea che, contrariamente alla concezione popperiana dell'incessante "discussione critica" che dovrebbe garantire la scientificità della ricerca, proprio l'abbandono di tale atteggiamento "segna la transizione a una scienza matura". Questa transizione avviene sotto l'egida di un *paradigma* (in seguito riqualificato come *matrice disciplinare*), ossia di un insieme di "esempi di effettiva prassi scientifica riconosciuti come validi", i quali "comprendono globalmente leggi, teorie, applicazioni e strumenti", fornendo "modelli che danno origine a particolari tradizioni di ricerca con una loro coerenza". Per la comunità che li accetta, consapevolmente o meno, i problemi della scienza diventano allora semplici "rompicapo", poiché il paradigma parebbe assicurare a chi vi è "impegnato" l'esistenza e l'univocità delle soluzioni. Le cose però non vanno sempre così: come mostra in più di un campo la storia della scienza, queste fasi di ricerca normale possono dare luogo a situazioni di "crisi" in cui diventa eccessiva la pressione di evidenze sperimentali in contrasto con il quadro o

paradigma accettato (le cosiddette "anomalie"). La crisi può sfociare in una vera e propria "rivoluzione", ossia indurre alla sostituzione del paradigma dominante con un altro.

Riprendendo alcuni spunti di Russell Norwood Hanson (1924-1967), il quale aveva originariamente sviluppato (in particolare in *Patterns of Discovery*, 1958) l'idea che i "fatti" d'osservazione e di esperimento non sono mai "neutrali", in quanto risultano intelligibili solo all'interno di un determinato quadro interpretativo (sono cioè *theory laden*, carichi di teoria), Kuhn caratterizza il "mutamento di paradigma" prima come una sorta di "riorientamento gestaltico [*gestalt switch*]" (attingendo ai teorici della psicologia della forma, soprattutto a Wolfgang Köhler, Kurt Koffka e Max Wertheimer), poi, come una sorta di irreversibile "cambiamento di mondo". La crescita della conoscenza appare così segnata da discontinuità che alcuni interpreti hanno avvicinato alle "rotture epistemologiche" teorizzate da Gaston Bachelard (1884-1962). Quel che resta del "progresso scientifico" è quindi caratterizzato da queste sostituzioni, in cui peraltro vengon quasi sempre "perdute" intuizioni e pratiche del quadro precedente – fenomeno tecnicamente noto come *Kuhn's loss*, o perdita kuhniana. Al contrario di quanto sembra emergere nello schema popperiano, non vi è qui approssimazione alla verità, poiché l'approfondimento per contraddizione e correzione (vedi p. 258), anche se in molti casi fortunati consente di prospettare sotto il profilo numerico alcuni risultati di una certa concezione come buone approssimazioni della concezione che l'ha soppiantata, non attenua la radicale diversità dei paradigmi stessi. Essi sono addirittura "incommensurabili", almeno per tre ragioni: cambiamento dei dati osservativi e sperimentali, mutamento degli standard metodologici e variazione delle nozioni di fondo, benché denotate da termini omofoni. (Su questo tema si vedano anche le osservazioni di Paul Feyerabend, p. 318.)

Formatosi originariamente come fisico teorico, intorno alla metà degli anni Cinquanta Kuhn si era rivolto alla storia della scienza. Del 1957 è *The Copernican Revolution*, ma non meno importante sotto il profilo della storia della fisica sarà *Black Body Theory and the Quantum Discontinuity* 1894-1912, pubblicato nel 1978, dove si analizza lo sviluppo della fisica quantistica a partire dall'opera (1900) di quel "rivoluzionario riluttante" che sarebbe stato Max Planck. Si tratta di due storie di "rivoluzioni scientifiche". Kuhn però ha sempre tenuto a sottolineare che l'accettazione delle sue analisi storiche era indipendente da quella delle sue proposte epistemologiche. In questo contesto, peraltro, sempre più attento alla lezione del secondo Wittgenstein e di Quine, dai primi anni Ottanta Kuhn è venuto ripensando profondamente le proprie idee ed è giunto a elaborare una concezione della "diversità lessicale" che caratterizza una specialità scientifica rispetto a quelle rivali o precedenti, delineando così un'interessante concezione evoluzionistica delle stesse discipline scientifiche (come traspare dai saggi raccolti nel volume *Dogma contro critica*).

Le pagine che seguono sono tratte da T.S. Kuhn, "The Function of Dogma in Scientific Research", in A.C. Crombie (a cura di), *Scientific Change. Historical Studies in Intellectual, Social and Technical Conditions of Scientific Discovery and Technical Invention, from Antiquity to the Present*, Heinemann Educational Books, London 1963, pp. 347-369; tr. it. "La funzione del dogma nella ricerca scientifica", in T.S. Kuhn, *Dogma contro critica. Mondi possibili nella storia della scienza*, a cura di S. Gattei, Raffaello Cortina, Milano 2000, pp. 6-11, 17, 20-23, 24-26.

Di Kuhn si vedano anche: *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale* (1957), tr. it. Einaudi, Torino 1972; *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (1962), tr. it. Einaudi, Torino 1969; *La tensione essenziale. Cambiamenti e continuità nella scienza* (1977), tr. it. Einaudi, Torino 1985; *Alle origini della fisica contemporanea. La teoria del corpo nero e la discontinuità quantica* (1978), tr. it. a cura di E. Bellone, il Mulino, Bologna 1981; T.S. Kuhn, J.D. Sneed e W. Stegmüller, *Paradigmi e rivoluzioni nella scienza*, tr. it. Armando, Roma 1983.

Per approfondire: D. Antiseri, "Thomas S. Kuhn storico o storicista? Una rilettura razionalistica della *Struttura delle rivoluzioni scientifiche*", in *La Nuova Critica*, 14 (1980), pp. 53-90; E. Bellone, "Thomas Kuhn e il libro della natura", in *Scienza*, 113 (1978), pp. 675-682; A. Bird, *Thomas Kuhn*, Princeton University Press, Princeton 2000; M. Buzzoni, *Semantica, ontologia ed ermeneutica della conoscenza scientifica. Saggio su Thomas S. Kuhn*, Franco Angeli, Milano 1986; I.B. Cohen, *La rivoluzione nella scienza*, tr. it. Longanesi, Milano 1989; L. Geymonat, *Riflessioni critiche su Kuhn e Popper*, Dedalo, Bari 1983; D. Gillies (a cura di), *Revolutions in Mathematics*, Oxford University Press, Oxford 1992; E. Giordano, *Tra paradigmi e rivoluzioni. Thomas Kuhn*, Rubbettino, Soveria Mannelli 1997; N.R. Hanson, *I modelli della scoperta scientifica*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1978; Id., *Il concetto di positron*, tr. it. Piovani, Abano Terme 1989; R. Harré, *Rivoluzioni scientifiche e rivoluzioni ideologiche*, tr. it. Armando, Roma 1977; C.R. Kordig, *La giustificazione del cambiamento scientifico*, tr. it. a cura di M. Pera, Armando, Roma 1982; R. Lanfredini, *Oggetti e paradigmi. Per una concezione interattiva della conoscenza scientifica*, Theoria, Roma-Napoli 1988; R. Rossini Favretti, G. Sandri e R. Scazzieri (a cura di), *Incommensurability and Translation. Kuhnian Perspectives on Scientific Communication and Theory Change*, Edward Elgar, Cheltenham 1999.



Sebbene il preconcetto e la resistenza all'innovazione possano impedire molto facilmente il progresso scientifico, la loro omni-presenza è tuttavia un chiaro sintomo delle caratteristiche dalle

quali dipende la continua vitalità della ricerca. Chiamerò tali caratteristiche, nel loro insieme, il dogmatismo della scienza matura, e [...] cercherò di prenderne in considerazione i seguenti aspetti. L'istruzione scientifica inculca ciò che la comunità scientifica aveva precedentemente ottenuto con difficoltà – un profondo impegno verso un modo particolare di vedere il mondo e di praticarvi la scienza. Tale impegno può essere sostituito da un altro, e di tanto in tanto lo è, ma non può essere semplicemente abbandonato. E mentre continua a caratterizzare la comunità professionale di coloro che praticano una disciplina scientifica, si dimostra fondamentale per la ricerca produttiva in due aspetti. Definendo, per il singolo scienziato, sia i problemi a sua disposizione per la ricerca, sia la natura delle soluzioni accettabili per essi, l'impegno risulta essere, a tutti gli effetti, un elemento costitutivo della ricerca. Normalmente lo scienziato è un solutore di rompicapo, come il giocatore di scacchi, e l'impegno indotto dall'educazione è ciò che gli fornisce le regole del gioco che si sta giocando alla sua epoca. In mancanza di esso egli non sarebbe un fisico, un chimico, o qualunque altra cosa è stato addestrato a essere. Inoltre, l'impegno svolge un secondo ruolo nella ricerca, largamente incompatibile con il primo. La sua stessa forza e l'unanimità con cui il gruppo professionale lo sottoscrive forniscono al singolo scienziato un rilevatore estremamente sensibile dei punti problematici da cui vengono dedotte, in modo quasi inevitabile, significative innovazioni di fatti e di teorie. Nelle discipline scientifiche gran parte delle scoperte di un fatto inaspettato e tutte le innovazioni fondamentali di una teoria sono risposte a un primo venire meno delle regole del gioco precedentemente stabilito. Quindi, se da una parte un impegno quasi dogmatico è fonte di resistenza e di controversia, è anche strumentale nel rendere le discipline scientifiche le più coerentemente rivoluzionarie fra tutte le attività umane. Non c'è bisogno di fare della resistenza o del dogma una virtù per riconoscere che nessuna scienza matura potrebbe esistere senza di loro.

Prima di esaminare ulteriormente la natura e gli effetti del dogma scientifico, si consideri il modello di educazione attraverso cui tale dogma è trasmesso da una generazione di professionisti alla successiva. [...]

Forse la caratteristica più rilevante dell'educazione scientifica è che, in una misura del tutto sconosciuta in altri ambiti creativi,

essa viene condotta attraverso manuali, testi scritti appositamente per studenti. Fino a quando non è pronto, o quasi pronto, a iniziare la propria tesi, raramente viene chiesto allo studente di chimica, di fisica, di astronomia, di geologia o di biologia di provare a intraprendere progetti sperimentali di ricerca o di esporli ai prodotti immediati di ricerche fatte da altri – alle comunicazioni professionali, cioè, che gli scienziati scrivono per i loro colleghi. Le raccolte delle "fonti" giocano un ruolo trascurabile nell'educazione scientifica. Né lo studente di discipline scientifiche viene incoraggiato a leggere i classici storici del suo campo – lavori in cui egli potrebbe ritrovare altri modi di vedere le questioni discusse nel suo libro di testo, ma in cui incontrerebbe anche problemi, concetti e soluzioni standard che la sua futura professione aveva scartato da tempo e sostituito. Whitehead ha colto questa caratteristica piuttosto speciale delle discipline scientifiche quando da qualche parte ha scritto che "una scienza che esita a dimenticare i suoi fondatori è perduta".

Ma un affidamento quasi esclusivo ai manuali non è tutto quello che distingue l'educazione scientifica. Anche gli studenti in altri campi sono, dopotutto, esposti a libri simili [...]. Nelle discipline scientifiche, però, i vari manuali espongono i diversi argomenti anziché fornire, come avviene invece nelle discipline umanistiche e in molte scienze sociali, esempi di approcci diversi a un singolo ambito di problemi. [...]

Neppure la tecnica di presentazione degli argomenti caratteristica dei manuali è la stessa nelle discipline scientifiche e altrove. Con l'eccezione delle occasionali introduzioni, che gli studenti raramente leggono, i testi scientifici fanno pochi tentativi di descrivere quei *generi* di problemi che il professionista è chiamato a risolvere, o di discutere la *varietà* delle tecniche che l'esperienza ha reso disponibile per la loro soluzione. Al loro posto questi libri riportano, fin dall'inizio, soluzioni di problemi concreti che la professione è arrivata ad accettare come paradigmi, e chiedono poi allo studente, con carta e penna o in laboratorio, di risolvere da solo problemi strettamente modellati, nel metodo e nella sostanza, su quelli attraverso i quali il testo lo ha condotto. [...]

Il modello educativo di un manuale sistematico appena descritto non esisteva in nessun luogo e in nessuna scienza (eccetto, forse, che nella matematica elementare) fino agli inizi del XIX secolo. Pri-

ma di quella data, però, parte delle discipline scientifiche più sviluppate mostrava chiaramente le caratteristiche indicate sopra, e in alcuni casi aveva fatto ciò per un periodo molto lungo. Dove non c'erano manuali c'erano spesso stati paradigmi universalmente accettati per la pratica delle singole scienze. Si trattava di conquiste scientifiche riportate nei libri che tutti i professionisti di un dato campo conoscevano nei dettagli e ammiravano, conquiste sulle quali modellavano la loro stessa ricerca e che fornivano loro una misura dei loro risultati. La *Fisica* di Aristotele, l'*Almagesto* di Tolomeo, i *Principia* e l'*Optica* di Newton, l'*Eletricità* di Franklin, la *Chimica* di Lavoisier, e la *Geologia* di Lyell – tutte queste opere, e molte altre, servirono per un certo periodo di tempo a definire implicitamente i problemi e i metodi legittimi in un determinato campo di ricerca per le successive generazioni di professionisti. [...]

Tutti i lavori sopra citati sono, naturalmente, classici della scienza. Come tali si potrebbe pensare che il loro ruolo assomigli a quello dei principali classici in altri campi creativi, per esempio le opere di uno Shakespeare, di un Rembrandt, o di un Adam Smith. Ma chiamando quelle opere, o le conquiste che vi stanno dietro, paradigmi anziché classici, io intendo suggerire che hanno qualcosa' altro di speciale, qualcosa che le distingue sia dagli altri classici della scienza sia da tutti i classici negli altri campi creativi.

Una parte di questo "qualcos'altro" è quello che chiamerò l'esclusività dei paradigmi. In ogni momento coloro che praticano una data disciplina possono riconoscere numerosi classici, alcuni dei quali – come le opere di Tolomeo e di Copernico, o di Newton e di Cartesio – sono del tutto incompatibili gli uni con gli altri. Ma lo stesso gruppo, se ha un paradigma, può averne uno solo. Diversamente dalla comunità degli artisti – che può trarre ispirazione contemporaneamente dalle opere, per esempio, di Rembrandt e di Cézanne, e che perciò studia entrambi – la comunità degli astronomi non aveva alternative nella scelta *tra* i modelli di attività scientifica, in competizione fra loro, forniti da Copernico e da Tolomeo. Inoltre, avendo fatto la propria scelta, gli astronomi potevano in seguito trascurare l'opera che avevano respinto. [...]

Questa caratteristica dei paradigmi è strettamente correlata a un'altra, che ha particolare rilevanza per la mia scelta terminologica. Nell'accettare un paradigma la comunità degli scienziati si impegna, consapevolmente o meno, nei confronti dell'idea che i pro-

blemi fondamentali ivi risolti siano in realtà stati risolti una volta per sempre. È questo che Lagrange intendeva quando diceva di Newton: "c'è un solo Universo e può capitare a un solo uomo, nella storia del mondo, di essere l'interprete delle sue leggi". L'esempio di Aristotele o di Einstein dimostra che Lagrange si sbagliava, ma ciò non rende il suo impegno meno consequenziale allo sviluppo scientifico. Credendo che quanto era stato fatto da Newton non occorre fosse fatto di nuovo, Lagrange non era tentato di procedere a reinterpretazioni fondamentali della natura. Poteva invece riprendere da dove gli uomini che condividevano il paradigma di Newton avevano lasciato, lottando sia per formulazioni più chiare di quel paradigma sia per un'articolazione che lo potesse portare a un accordo più preciso con le osservazioni della natura. Un lavoro di tal genere è intrapreso solo da coloro che sentono che il modello che hanno scelto è completamente sicuro. Non c'è nulla di simile nelle arti, e i parallelismi nelle scienze sociali sono, nel migliore dei casi, parziali.

[...]

Queste osservazioni dovrebbero iniziare a chiarire che cosa penso sia un paradigma. Esso è, anzitutto, una conquista scientifica fondamentale che comprende sia una teoria sia alcuni esempi di applicazione ai risultati della sperimentazione e dell'osservazione. Ancora più importante, esso è una conquista aperta, che lascia ogni genere di ricerca ancora da intraprendere. Infine, è una conquista accettata, nel senso che è condivisa da un gruppo i cui membri non tentano più di contrastarla o di creare alternative a essa. Al contrario, essi cercano di estenderla e di sfruttarla in una varietà di modi che esaminerò tra breve. La discussione sul lavoro che i paradigmi lasciano da fare renderà ancora più chiaro il loro ruolo e le ragioni per la loro speciale efficacia. Ma prima c'è da considerare un diverso argomento a loro riguardo. Benché la ricezione di un paradigma sembri costituire, da un punto di vista storico, un pre-requisito ai più efficaci tipi di ricerca scientifica, i paradigmi che accrescono l'efficacia di una ricerca non devono essere permanenti, e di solito non lo sono. Al contrario, il modello di sviluppo di una scienza matura è solitamente da paradigma a paradigma. Si differenzia dal modello caratteristico del primo periodo, o periodo

pre-paradigmatico, non per l'eliminazione totale del dibattito sui fondamenti, ma per la drastica restrizione di tale dibattito ai momenti occasionali di cambiamento di paradigma.

[...]

Quello che intendo dire risulterà più chiaro se ora chiedo che cosa l'esistenza di un paradigma lasci da fare alla comunità scientifica. La risposta [...] è che gli scienziati, dato un paradigma, lottano con tutta la loro forza e con tutta la loro abilità per portarlo a un accordo sempre più stretto con la natura. Gran parte dei loro sforzi, particolarmente nelle prime fasi dello sviluppo di un paradigma, è diretta a sviluppare il paradigma stesso, a renderlo più preciso nelle aree dove la formulazione originaria era stata inevitabilmente vaga. Per esempio, sapendo che l'elettricità è un fluido le cui particelle individuali agiscono le une sulle altre a distanza, gli studiosi di fenomeni elettrici dopo Franklin potevano tentare di determinare la legge quantitativa che regola la forza tra le particelle di elettricità. Altri potevano cercare l'interdipendenza reciproca fra la lunghezza della scintilla, la deflessione osservata grazie all'elettroscopio, la quantità di elettricità e la configurazione del conduttore. Questi erano i generi di problemi su cui Coulomb, Cavendish e Volta lavorarono negli ultimi decenni del XVIII secolo; ed essi hanno molti paralleli nello sviluppo di ogni altra scienza naturale. I tentativi contemporanei di determinare le forze quantomeccaniche che governano le interazioni dei nuclei cadono precisamente in questa stessa categoria, l'articolazione del paradigma.

Un problema di tale genere non è la sola sfida che un paradigma pone alla comunità che lo abbraccia. Ci sono sempre molte aree in cui un paradigma è supposto operare ma a cui, di fatto, non è ancora stato applicato. Accordare il paradigma alla natura in queste aree impegna spesso molto del migliore talento scientifico in ogni generazione. Ne sono un esempio significativo i tentativi di sviluppare una teoria newtoniana delle corde vibranti nel corso del XVIII secolo; l'attuale impegno teorico su una meccanica quantistica dei solidi ne fornisce un altro. Inoltre, c'è sempre molto lavoro affascinante da fare per migliorare l'accordo tra un paradigma e la natura in un'area dove si è già dimostrato (almeno) un limitato accordo. Un lavoro teorico su problemi come questi è illustrato sia dalla ri-

cerca del XVIII secolo sulle perturbazioni che causano la deviazione dei pianeti dalle loro orbite kepleriane, sia, nel XX secolo, dalla elaborata teoria degli spettri degli atomi e delle molecole complesse. E insieme a tutti questi problemi e ad altri ancora, vi è anche una serie ricorrente di ostacoli strumentali. Speciali apparati sperimentali dovettero essere inventati e costruiti per permettere la determinazione, da parte di Coulomb, della legge che regola la forza elettrica. Nuovi tipi di telescopi si resero necessari per le osservazioni che, quando completate, esigevano una migliore teoria newtoniana delle perturbazioni. Il progetto e la costruzione di acceleratori più flessibili e più potenti sono un *desideratum* costante nel tentativo di articolare teorie più potenti delle forze molecolari. [...]

Tutti i problemi prima menzionati dipendevano, spesso in modi diversi, da un paradigma. Alcuni – per esempio, la derivazione di termini di perturbazione nella teoria planetaria newtoniana – non potevano nemmeno essere formulati in assenza di un paradigma appropriato. Con la transizione dalla teoria newtoniana a quella della relatività, alcuni di essi divennero problemi differenti, e non tutti sono stati ancora risolti. Altri problemi – per esempio, il tentativo di individuare una legge che regoli le forze elettriche – potevano essere formulati, e lo furono, almeno vagamente, prima dell'emergere del paradigma con cui furono infine risolti. Ma in quella forma più vecchia essi si dimostravano intrattabili. Gli uomini che descrivevano le attrazioni e le repulsioni elettriche in termini di effluvi tentarono di misurare le forze risultanti ponendo un disco carico a una distanza misurata sotto un piatto di una bilancia. In quelle circostanze non si ottenne alcun risultato coerente o interpretabile. Il prerequisito per il successo si dimostrò essere un paradigma che riduceva l'azione elettrica a un'azione simile a quella gravitazionale fra particelle puntiformi poste a distanza. Dopo Franklin gli studiosi di fenomeni elettrici pensavano all'azione elettrica in questi termini; sia Coulomb sia Cavendish progettarono i loro apparati strumentali di conseguenza. Alla fine, in entrambi questi casi, come anche in tutti gli altri, era necessario un impegno nei confronti del paradigma semplicemente per fornire motivazioni adeguate. Chi progetterebbe e costruirebbe elaborati apparati strumentali, o chi passerebbe mesi tentando di risolvere un'equazione differenziale particolare senza una garanzia piuttosto solida che il suo sforzo, se avrà successo, porterà al risultato anticipato?

Questo riferimento al risultato anticipato di un progetto di ricerca indica [...] un'ulteriore] caratteristica fondamentale di quella che io ora chiamo ricerca normale o basata su un paradigma. Lo scienziato impegnato in essa non risponde affatto all'immagine dello scienziato come esploratore o come inventore di teorie nuove di zecca che consentano predizioni impressionanti e insperate. Al contrario: in tutti i problemi sopra discussi, ogni cosa, finché il dettaglio del risultato, era conosciuta in anticipo. Nessuno scienziato che accettò il paradigma di Franklin poteva dubitare dell'esistenza di una legge di attrazione tra piccole particelle di elettricità, e si poteva ragionevolmente supporre che questa avrebbe avuto una semplice forma algebrica. Alcuni avevano anche indovinato che si sarebbe trattato di una legge dell'inverso del quadrato. Né gli astronomi e i fisici newtoniani dubitavano che la legge del moto e della gravitazione di Newton potessero alla fine comportare i moti osservati della Luna e dei pianeti, anche se, per oltre un secolo, la complessità della matematica richiesta impediva che si ottenesse uniformemente un buon accordo con i dati rilevati. In tutti questi problemi, come nella maggior parte di quelli che gli scienziati affrontano, la sfida non è svelare ciò che non è noto, ma ottenere ciò che è noto. [...]

Nondimeno, tale immagine della ricerca scientifica come risolutrice di rompicapo o accordatrice di paradigmi deve essere, nel suo complesso, perlomeno incompleta. Sebbene lo scienziato possa non essere un esploratore, gli scienziati scoprono sempre nuovi e inaspettati generi di fenomeni. O ancora, sebbene lo scienziato normalmente non lotti per inventare nuovi generi di teorie fondamentali, tali teorie sono emerse ripetutamente dalla continua pratica della ricerca. Ma nessuno di questi tipi di innovazione farebbe la sua comparsa se l'impresa che chiamo scienza normale raggiungesse sempre il suo scopo. In realtà, l'uomo impegnato nella soluzione di rompicapo molto spesso si oppone alle novità sostanziali, e fa così per buoni motivi. Per lui rappresentano un cambiamento delle regole del gioco, e ogni cambiamento è intrinsecamente sovversivo. Tale elemento sovversivo è naturalmente più evidente nelle maggiori innovazioni teoriche, come quelle associate ai nomi di Copernico, di Lavoisier o di Einstein. Ma la scoperta di un fenomeno non anticipato può avere gli stessi effetti distruttivi, sebbene di solito su un gruppo più piccolo e per un periodo di tempo molto

più breve. Una volta eseguiti i primi esperimenti dopo la sua scoperta, lo schermo fluorescente di Röntgen dimostrò che quella che era in precedenza l'apparecchiatura standard relativa a un raggio catodico si stava comportando in modi per i quali nessuno aveva dato l'autorizzazione. C'era una variabile non anticipata che doveva essere controllata; le ricerche precedenti, che erano già sulla strada per diventare paradigmi, esigevano di essere riconsiderate; i vecchi rompicapo avrebbero dovuto essere risolti di nuovo entro un insieme di regole in un certo modo diverso. Anche una scoperta così prontamente assimilabile, come quella dei raggi X, può violare un paradigma che aveva precedentemente guidato la ricerca. Ne segue che, se l'attività normale di soluzione di rompicapo fosse coronata da completo successo, lo sviluppo della scienza non potrebbe condurre ad alcuna innovazione fondamentale.

Ma naturalmente la scienza normale non ha sempre successo, e nel riconoscere questo fatto incontriamo quello che considero essere il secondo grande vantaggio della ricerca basata su un paradigma. Diversamente da molti dei primi studiosi di fenomeni elettrici, il professionista di una scienza matura conosce con notevole precisione quale genere di risultato dovrebbe ottenere con la sua ricerca. Si trova pertanto in una posizione particolarmente favorevole per riconoscere quando un problema nella ricerca è andato fuori strada. Forse, come nel caso di Galvani o di Röntgen, incontra un effetto che sa che non sarebbe dovuto accadere. O forse, come nel caso di Copernico, di Planck o di Einstein, conclude che i ripetuti fallimenti dei suoi predecessori nell'accordare un paradigma alla natura costituiscono la prova indiziaria della necessità di cambiare le regole secondo cui si cerca un tale accordo. O forse, come nel caso di Franklin o di Lavoisier, decide dopo ripetuti tentativi che non è possibile articolare nessuna teoria esistente per tenere conto di un qualche effetto appena scoperto. In tutti questi modi, e in altri ancora, la pratica della scienza normale, dedicata alla soluzione di rompicapo, può condurre, e inevitabilmente conduce [...] al riconoscimento di un'anomalia. Tale riconoscimento si dimostra, penso, un prerequisito per quasi tutte le scoperte di nuovi generi di fenomeni e per tutte le fondamentali innovazioni in una teoria scientifica. Dopo che un primo paradigma è stato raggiunto, un crollo delle regole del gioco prestabilite è il preludio usuale a una significativa innovazione scientifica.

Imre Lakatos

La metodologia dei programmi di ricerca scientifici

“Per secoli la conoscenza è stata identificata con la conoscenza dimostrata: dimostrata dal potere dell'intelletto o dall'evidenza dei sensi [...]. Entrambi questi poteri però] vennero messi in discussione dagli scettici più di duemila anni fa. Ma costoro furono intimiditi e disorientati dal trionfo della fisica newtoniana. Con i risultati di Einstein la situazione si è di nuovo capovolta, e oggi pochissimi [...] continuano a pensare che la conoscenza scientifica sia, o possa essere, conoscenza dimostrata. Ma non sono in molti a rendersi conto che in questo modo l'intera struttura classica dei valori intellettuali crolla e deve essere rimpiazzata.” Con queste parole si apre il saggio – apparso nel volume *Criticism and the Growth of Knowledge*, che riporta la quarta sessione del famoso Colloquio del Bedford College di Londra (13 luglio 1965) – nel quale Imre Lakatos (1922-1974) espone la propria “metodologia dei programmi di ricerca scientifici” (d'ora in avanti MSRP). Nelle pagine successive egli fa subito intendere che la pretesa “svolta” nella filosofia rivendicata dall'empirismo logico ha di fatto mancato il proprio obiettivo. Meglio le cose sono andate con Popper, che agli occhi di Lakatos ha saputo riprendere nel Novecento la grande tradizione di analisi storico-critica della scoperta scientifica inaugurata da Herschel e da Whewell. Finché si restava vittime del pregiudizio per cui “valutare una teoria scientifica significava valutare il suo grado di giustificazione”, poteva sembrare aver ragione chi, come Mill, trovava insensata l'idea di conferire maggior “fiducia” a una teoria se questa anticipava fatti nuovi o inaspettati (vedi p. 46). Un simile approccio però finiva per confondere “verità dimostrata” e “potere euristico” di una teoria, ed è stato merito dell'autore della *Logik der Forschung* “distinguere i due concetti”.

Tuttavia, per Lakatos la versione falsificazionista del fallibilismo offerta da Popper resta troppo rigida e deve essere “raffinata”, tenendo conto della constatazione di Thomas Kuhn, e di altri con lui, secondo la quale le teorie, specie quelle più “audaci”, nascono e si sviluppano in un “oceano di anomalie”. Occorre dunque concedere qualcosa alla “funzione del dogma”: le singole teorie sono ancora unità troppo piccole per la valutazione

metodologica, anche se Lakatos non avrebbe mai accettato che l'unità di valutazione sia la scienza nel suo complesso, come vuole Quine in *Two Dogmas* (vedi p. 272). Riattualizzando gli argomenti di Duhem (vedi p. 123) contro il carattere risolutivo dei cosiddetti esperimenti cruciali, anche se visti solo come esperimenti cruciali *falsificanti* (vedi del resto l'obiezione di Neurath, p. 244), Lakatos sostiene che l'unità di valutazione è piuttosto un "programma di ricerca", ossia una successione di teorie la cui continuità è garantita da un "nucleo" di enunciati relativamente stabili, non toccato da alcuna evidenza contraria, mentre è compito della "cintura protettiva", costituita dalle varie ipotesi ausiliarie via via aggiunte, difendere tale nucleo da pretese confutazioni ("euristica negativa") nonché predire con successo fatti nuovi e inattesi ("euristica positiva") – nello spirito di Whewell e già di Leibniz. Ciò permette naturalmente maggiore tolleranza rispetto al modello popperiano, in quanto per Lakatos possono rientrare nella "buona scienza" persino programmi che partono da premesse incoerenti (vedi i casi del calcolo infinitesimale e del programma atomico di Bohr), purché essi pongano problemi inediti e stimolanti, e ne risolvano almeno qualcuno; purché abbiano cioè un aumento di contenuto (nella terminologia lakatosiana, siano "programmi teoricamente progressivi") e almeno parte di questo contenuto sia corroborato ("programmi empiricamente progressivi"). In tal modo Lakatos fa propria la richiesta popperiana di evitare ipotesi *ad hoc*, e anzi quanto sopra permette di distinguere tra ipotesi *ad hoc*, (che riducono il contenuto empirico) e ipotesi *ad hoc*, (che restano comunque non corroborate), e di introdurre persino una terza nozione di ipotesi *ad hoc* (*ad hoc*) caratterizzante quelle ipotesi ausiliarie che non sono costruite in armonia con l'euristica del programma (riqualificando così un'esigenza di eleganza e intelligibilità avanzata da molti scienziati dell'Ottocento, si pensi per esempio a Heinrich Hertz).

Durante i suoi contatti con Popper alla London School of Economics, Lakatos aveva cura di sottolineare come egli cercasse in questo modo di "migliorare" il modello. Ma Sir Karl gradiva sempre meno, soprattutto dopo il Colloquio del Bedford College: in una lettera del 1969 scrive infatti a Lakatos: "grazie per confondere ciò che io ho cercato così attentamente di spiegare". Alla pubblicazione del volume curato da Paul Schilpp (*The Philosophy of Karl Popper*, 1974) lo scontro è ormai pubblico: nelle repliche ai critici, Popper richiama gli esempi di scienza progressiva (Newton) e regressiva (Marx e soprattutto Freud) toccati nelle pagine lakatosiane qui riportate. Proprio queste pagine mostrano peraltro la radicale svolta compiuta da Lakatos rispetto all'originario falsificazionismo popperiano: dallo slittamento della metafisica da influenza esterna (i programmi di ricerca metafisici teorizzati da Popper nel *Postscript*) a motore interno della ricerca (il nucleo è "metafisico" per una sorta di decisione degli aderenti al programma, che lo trattano come infalsificabile), all'enfasi sulle predizioni (di successo) dei fatti nuovi – un punto questo su cui Lakatos riflette nell'ultima fase della

sua ricerca insieme ad alcuni discepoli come John Worrall, Peter Clark e soprattutto Elie Zahar, rivalutando, sia pure in una chiave differente, la vecchia idea delle verifiche empiriche (si ricordino, per esempio, le celebri battute di Schlick sul senso di soddisfazione, anzi di gioia, che lo scienziato prova quando i conti tornano, magari contro le sue stesse aspettative. Sono queste forme di successo "interno" alla scienza che Lakatos ritiene significative per capire perché un programma di ricerca prevalga su uno precedente o rivale, il che viene ribadito in polemica con qualsiasi spiegazione in termini di "prestigio personale" o di "pressione sociale", in opposizione alle tesi rispettivamente di Michael Polanyi e di Robert K. Merton). Per non dire della concezione dialettica della matematica che Lakatos aveva sviluppato fin dalla sua tesi di dottorato a Cambridge, e parte della quale aveva fornito il materiale per il lavoro apparso in *The British Journal for the Philosophy of Science* (1963-1964) con il titolo "Proofs and Refutations". L'abbinamento di "dimostrazioni" e "confutazioni" in matematica, se apparentemente riprende quello di "congetture" e "confutazioni" nelle scienze empiriche che compare nel titolo del volume popperiano del 1963, di fatto segnava già allora un distacco da Popper. Secondo quest'ultimo, infatti, il contenuto di un teorema matematico è nullo (vedi p. 256); di contro, per Lakatos, nel tentativo di trasformare le loro congetture in veri e propri teoremi i matematici introducono assunti ausiliari che talvolta restano allo stato di "premesse nascoste", le quali avvicinano di molto la dimostrazione a una sorta di esperimento mentale che può rivelare dei controesempi sia alle premesse sia alla stessa congettura principale (in questo senso i controesempi funzionano quasi da falsificatori). Dove arrestare la fase euristica e ristrutturare in una teoria assiomatico-formale il materiale via via portato alla luce è questione di scelta, proprio come lo è nella MSRP lavorare su un programma di ricerca progressivo piuttosto che su uno regressivo, poiché non vi è mai per qualsiasi programma un punto di saturazione naturale in cui si sia logicamente costretti a lasciare quel programma per un altro. Parallelamente, un programma può addirittura utilizzare ipotesi *ad hoc* e rivelarsi sul lungo periodo (ma quanto lungo?) progressivo: per citare un esempio caro a Lakatos, così è stato per la prima fisica quantistica, anche se originariamente l'ipotesi del quanto d'azione di Planck "era tipicamente *ad hoc*" (più precisamente, *ad hoc*).

Nato a Debrecen (Ungheria) da una famiglia ebraica, Imre (che all'epoca di cognome faceva Lipschitz) si forma alla locale università, dividendo il proprio tempo tra i seminari di filologia e storia della matematica di Arpad Szabó e l'attività politica. L'occupazione nazista dell'Ungheria lo costringe alla clandestinità: cambia nome scegliendo quello di Lakatos, molto diffuso nella classe operaia ungherese. Perfeziona i suoi studi nell'Eötvös College di Budapest, frequentando i seminari di György Lukács (1885-1971). Dopo un fallito tentativo di indirizzare "correttamente" studenti e intellettuali, è un breve soggiorno a Mosca, Lakatos cade in disgrazia. Nella primavera del 1950 quello che è ormai bollato come "un trozkista nato" viene ar-

restato e, senza processo regolare, tenuto segregato nel campo di lavoro di Resek (dove pare trovasse conforto nel passare in rassegna le dimostrazioni matematiche che conosceva, cercandone minuziosamente i difetti). Nel 1953 Imre Nagy diventa primo ministro, il partito si impegna in una politica di riforma e vengono chiusi i campi di lavoro. Lakatos è scarcerato e può così riprendere l'attività di ricerca. Tre anni più tardi torna alla politica, frequentando un circolo (Petöf) formato in gran parte da studenti dell'Università di Budapest e assai critico circa la pianificazione economica e l'assoggettamento dell'Ungheria all'URSS. Per evitare di essere nuovamente arrestato fugge a Vienna (non prima però di aver firmato la Dichiarazione del Comitato nazionale dell'Accademia delle scienze ungherese, ove tra l'altro si richiede libertà per la scienza). Da Vienna passa a Cambridge, entra quindi in contatto con Popper e segue i suoi seminari alla London School of Economics, dove trascorrerà l'intera carriera accademica.

Le pagine qui riportate fanno parte dell'ultimo corso tenuto da Lakatos alla LSE nel 1973. Lo stile colloquiale rende bene la sua personalità. Come ricorderà Paul Feyerabend (1994): "Ancor oggi mi manca quest'individuo eccessivo, sensibile, implacabile, autoironico, e così umano". Anche a noi.

Le pagine che seguono sono tratte da I. Lakatos e P.K. Feyerabend, *Sul porto della scienza. Pro e contro il metodo*, a cura di M. Morterlini, Raffaello Cortina, Milano 1995, pp. 137-151, 153-154.

Di Lakatos si vedano anche: *Dimostrazioni e confutazioni*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1979; *La metodologia dei programmi di ricerca scientifici. Scritti filosofici*, tr. it. a cura di M. D'Agostino, Il Saggiatore, Milano 1983; *Matematica, scienza ed epistemologia. Scritti filosofici II*, tr. it. a cura di M. D'Agostino, Il Saggiatore, Milano 1985; I. Lakatos e A. Musgrave (a cura di), *Critica e crescita della conoscenza*, tr. it. a cura di G. Giorlino, Feltrinelli, Milano 1976.

Per approfondire: R.S. Cohen, P.K. Feyerabend e M.W. Wartosky (a cura di), *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht 1976; R. Darendorf, *A History of the London School of Economics and Political Science 1895-1995*, Oxford University Press, Oxford 1995; K. Gavroglu, Y. Goudaroulis e P. Nicolacopoulos (a cura di), *Imre Lakatos and Theories of Scientific Change*, Kluwer, Dordrecht 1989; G. Giorlino, Introduzione a I. Lakatos e A. Musgrave (a cura di), *Critica e crescita della conoscenza*, cit., pp. 7-63; Id., Introduzione a I. Lakatos, *Dimostrazioni e confutazioni*, cit., pp. 7-34; G. Giorlino e M. Morterlini, "Programmi di ricerca, valutazioni metodologiche e crescita della conoscenza in economia", in G. Sabbatini (a cura di), *Economia al buio*, Franco Angeli, Milano 1995, pp. 154-201; Id., "Imre Lakatos: tra il diavolo hegeliano e il profondo mare azzurro di Popper", in *Acme*, 49 (1996), pp. 83-111; J. Kadvany, *Imre Lakatos and the Guises of Reason*, Duke University Press, Durham and London 2001; L. Kvasz, G. Kampi e M. Stoelzner (a cura di), *The Philosophy of Imre Lakatos. Its Roots, Content and Limitations*, Springer, New York-Wien 2000; G.L. Lin-

guini, *Imre Lakatos e la "filosofia della scoperta"*, Pacini Fazzi, Lucca 1981; R.K. Merton, *La sociologia della scienza: indagini teoriche ed empiriche*, a cura di N.W. Storer, tr. it. di M. Protti, Franco Angeli, Milano 1981; M. Morterlini, *Lakatos. Scienza, matematica, storia*, Il Saggiatore, Milano 2000; M. Polanyi, *La conoscenza personale. Verso una filosofia post-critica*, tr. it. a cura di E. Rivero, Rusconi, Milano 1990; Id., *La logica della libertà*, tr. it. a cura di C. Vinti, Rubbettino, Soveria Mannelli 2002; C. Vinti, *Michael Polanyi. Conoscenza scientifica e immaginazione creativa*, Edizioni Studium, Roma 1999; E. Zahar, "The Popper-Lakatos Controversy in the Light of Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie", in *The British Journal for the Philosophy of Science*, 34 (1983), pp. 149-171.



Il nostro problema originario era quello della crescita incontrollata della popolazione accademica e delle pubblicazioni, il che ci suggeriva di incominciare a "bruciare" persone e libri. Per fare ciò occorreva però un criterio di demarcazione che ci indicasse le persone e i libri giusti. (Quest'anno ho deciso di occuparmi solo di un aspetto del problema: come bruciare i libri; dell'altro, come bruciare le persone, mi interesserò l'anno prossimo.)

Avevo poi indicato tre scuole di pensiero [anarchismo, autoritarismo, demarcazionismo]. L'anarchismo epistemologico è oggi rappresentato da Feyerabend secondo il quale non si dovrebbe bruciare proprio niente lasciando crescere qualsiasi pianta. Nell'autoritarismo, spiccano Polanyi, Kuhn e Merton: secondo loro occorre prima di tutto individuare la comunità scientifica, poi accertarne i giudizi e, infine, seguirne le eventuali conversioni di tipo religioso. In quest'ottica il problema di bruciare i libri si riduce a quello di bruciare le persone, perché bisogna prima trovare le persone "giuste" – cioè la comunità scientifica; una volta individuato quelli insieme di persone, si segue il loro punto di vista. Così non si distinguono le idee da coloro che le sostengono.

Io invece vorrei separare i due problemi: primo, bruciare le persone; secondo, bruciarne le opere. E dal punto di vista dell'autoritarismo la demarcazione viene tracciata fra la comunità scientifica e le altre comunità; un esercizio a mio avviso completamente inutile.

Dal punto di vista del demarcazionismo, invece, si distingue fra lavori buoni e cattivi, senza badare a chi li ha scritti.

Abbiamo anche esaminato differenti varianti del demarcazionismo, come l'induttivismo, di cui si è mostrata l'impossibilità logica: se la scienza fosse davvero induttivistica, nel mondo reale non esisterebbe nulla del genere. È logicamente impossibile pervenire a inferenze teoricamente valide a partire dai fatti o da proposizioni fattuali.

Il convenzionalismo, invece, dal punto di vista logico è corretto. Esso inserisce i fatti in opportune caselle e riempia quelle malfatte e complicate con strutture più semplici. Almeno due, però, sono le cose che qui non vanno: primo, la "semplicità" è una questione di gusto, è troppo idiosincratica; secondo, se guardiamo alla storia della scienza non troviamo nessuna concezione della "semplicità", in altri termini, non si può definire la "semplicità" in modo da far diventare la teoria di Einstein più semplice di quella di Newton, o la teoria di Newton più semplice di quella di Copernico, o quest'ultima più semplice di quella di Tolomeo. Una storia della scienza di questo genere non è possibile, sarebbe mitologia. Il convenzionalismo può essere criticato, mediante l'indagine storica. In breve: se i criteri di scelta fossero davvero quelli del convenzionalismo, allora la scienza reale sarebbe creata in modo irrazionale.

Infine, si è detto del falsificazionismo e di Popper. Su tale questione vorrei insistere un po', perché è da questa prospettiva che presenterò la mia *metodologia dei programmi di ricerca scientifici*.

Che cosa non funziona nel falsificazionismo? All'inizio del corso ho detto che bisognava tracciare una tabella dei buoni e dei cattivi. Queste sono condizioni essenziali per qualunque teoria della demarcazione: noi vorremmo che le idee di Galileo, Newton ed Einstein andassero a finire tra i buoni e certe altre, che è meglio non nominare, tra i cattivi. La questione è che con il falsificazionismo tutto va a finire fra i cattivi. È un fatto storico che ogni teoria nasce infestata da anomalie. E queste vengono accantonate piuttosto che impiegate nella confutazione della teoria. Ne segue che, alla luce del falsificazionismo, la crescita della scienza nel suo complesso è irrazionale e gli scienziati si comportano in modo irrazionale. In altri termini: Popper non può spiegare in modo razionale la presenza delle anomalie.

Un secondo punto in sfavore di Popper concerne il ruolo del *dogmatismo* nella scienza. Nell'accezione popperiana del termine

gli scienziati sono davvero dogmatici. Le teorie scientifiche – per esempio quella di Newton – sono tenaci. Ricordate gli esempi della volta scorsa: la teoria di Newton ha dato prova di notevole tenacia, ma, stando a Popper, la tenacia delle teorie è qualcosa di immorale. È immorale, per esempio, che marxismo e freudismo siano sopravvissuti così a lungo. Ma nessuna grande teoria scientifica è immune da questa critica! Come avrete notato, *il trascurare le anomalie* è la stessa cosa della tenacia.

Queste sono critiche *storiografiche* al criterio di demarcazione di Popper. Da un punto di vista *logico*, invece, è possibile "giocare il gioco della scienza" secondo le regole di Popper: si crea una teoria coerente che sia falsificabile sperimentalmente, si produce l'esperimento, si rigetta la teoria, si produce una nuova teoria che viene poi anch'essa rigettata, e così via. Tutto ciò è logicamente possibile, solo che nella realtà non è mai successo niente di simile. Perciò, se accettiamo la filosofia popperiana, dobbiamo concludere che la scienza, anno dopo anno, è sempre stata irrazionale, e gli scienziati si sono sempre comportati immoralmente.

Per la filosofia di Popper sussistono ulteriori difficoltà connesse alle precedenti. Secondo Popper le anomalie dovrebbero avere un effetto dirimponte su uno scienziato. Il che è un corollario psicologico a un criterio oggettivo di valutazione. Nella terminologia popperiana, se dobbiamo produrre una teoria specificandone i falsificatori potenziali, allora ogni anomalia costituisce un problema e, prima di averlo risolto, non si può andare avanti mantenendo il nucleo della teoria e facendo finta di niente. È nostro *dovere morale* tenere conto dell'esperimento cruciale negativo. Ho già detto che gli scienziati però non si comportano così, anzi ignorano di solito le difficoltà oppure fanno qualcosa di peggio. Inoltre, per la teoria popperiana non contano le verificazioni, ma solo le falsificazioni. Allora, non dovremmo pensare affatto che una teoria sia verificata da un esempio confermatore, dovremmo limitarci a scrollare le spalle, perché ciò non aggiunge nulla al valore di una teoria. Soltanto l'essere la migliore sul campo di battaglia costituisce una nota di merito. Se una teoria è stata confutata, si è certo dimostrato con ciò che era scientifica. Ma nessuna teoria può essere scientifica *prima* di venire confutata: potrebbe pur sempre essere infalsificabile, come si fa a saperlo? Se guardiamo alla storia della scienza, vediamo che certe teorie, anche se non tutte, sono diventate vittoriose solo

grazie a drammatici esempi corroboranti. Le teorie crescono in un oceano di anomalie, i controesempi sono spensieratamente ignorati, ma certe conferme drammatiche ricevono grande attenzione. Darò due esempi: primo, dopo che Newton ebbe proposto la sua teoria – i *Principia* furono pubblicati nel 1687 – per circa un secolo l'Accademia di Francia bandì annualmente un premio per chi fosse riuscito a confutare la teoria newtoniana. Ne furono assegnati una dozzina, dopodiché accadde qualcosa. Newton aveva un allievo che si chiamava Halley. Egli, estrapolando da un'osservazione su tempi brevi determinate condizioni iniziali e applicando le quattro leggi di Newton più certe altre teorie, calcolò che una cometa che aveva osservato – nota oggi come “cometa di Halley” – sarebbe scomparsa e riapparsa settantadue anni più tardi esattamente nello stesso punto del cielo, e predisse il momento del ritorno con la precisione di un minuto. Di fatto, si sbagliò di mezzo minuto. [...]

Secondo esempio, altrettanto famoso: la teoria della relatività generale di Einstein [...] era un vero terremoto intellettuale, nel senso che rimpiazzava completamente la legge della gravitazione di Newton. Se intorno al 1918 aveste chiesto a dei fisici un'opinione in proposito, avreste scoperto che solo pochi ne sapevano qualcosa. Ma nel 1919 la faccenda è diversa. Una delle conseguenze della teoria di Einstein è questa: prendiamo due stelle – selezionate in modo che durante un'eclissi di Sole, quando cioè la Luna oscura il Sole, le due stelle diventino visibili per pochi minuti – di cui abbiamo misurato la distanza *durante la notte*. Ne misuriamo nuovamente la distanza *di giorno*, durante l'eclissi di Sole, e troviamo che la distanza è significativamente differente. Nessuno si sognerebbe mai di andare a osservare qualcosa del genere – è così incredibile! – senza una teoria che lo preveda. Nel 1919, per verificare la predizione di Einstein, Eddington organizzò una spedizione in America del Sud dove ci si aspettava un'eclissi del genere, guardate un po', scopri proprio questo. Fu tale verifica che fece pendere la bilancia dalla teoria di Newton a quella di Einstein. Ma, secondo Karl Popper, gli scienziati non dovrebbero assolutamente farsi influenzare dalle conferme. Se accettiamo la teoria della valutazione di Popper, allora gli scienziati si comportano sempre in maniera irrazionale. Primo, ignorano le anomalie; secondo, sono impressionati non dagli esperimenti cruciali, ma dalle verificazioni! [...]

Ma il comportamento degli scienziati, ovvero la valutazione positiva accordata alle verificazioni drammatiche, è davvero così folle e irrazionale? (Ovviamente, “drammatico” è un concetto solo lontanamente popperiano, perché “drammatico” è ciò che deve al tempo stesso essere un'anomalia per il programma rivale e una verifica per il nuovo.)

Vorrei infine introdurre un nuovo concetto che è in gran parte una articolazione delle idee di Popper (anche se continuerò a criticare queste ultime con argomenti tratti dalla storia della scienza). Si tratta della nozione di “slittamento di problema” [*problem-shift*]. Chiamo “slittamento di problema” una sequenza di teorie scientifiche che si rimpiazzano l'un l'altra col passare del tempo. Sarebbe meglio dire “slittamento di ipotesi”, ma suona molto male. Definisco poi uno slittamento di problema *teoricamente progressivo* se per ogni sequenza $H_1, H_2, \dots, H_n$ ogni ipotesi H_i predice tutto ciò che predicava la precedente ipotesi e qualcosa altro in aggiunta. Perciò, uno slittamento di problema teoricamente progressivo è un caso paradigmatico di crescita della conoscenza, una crescita di congetture ricche di contenuto. Abbiamo inoltre uno slittamento di problema *empiricamente progressivo* se almeno alcune delle predizioni sono corroborate. C'è un aspetto positivo nella teoria di Popper, la trattazione delle ipotesi *ad hoc*: gli slittamenti di problema progressivi verrebbero descritti da Popper come non *ad hoc*. Così, se una teoria cresce in maniera non *ad hoc*, io chiamo il tutto uno slittamento di problema progressivo. Se invece un programma non predice mai alcun fatto nuovo, ma elimina le anomalie solo con trucchi verbali, esso è regressivo e sta diminuendo di contenuto. Immaginiamo che venga proposta l'ipotesi H_1 e ci siano determinate anomalie, e che H_2 equivalga a H_1 , meno le anomalie: ebbene, lo slittamento in questo caso non è progressivo. Un altro caso di regresso si produce quando si aggiunge un'*ipotesi ausiliare* non controllabile. Consideriamo, per esempio, la teoria politica di Marx. Vi è chi afferma che essa può spiegare tutto. Facciamo il caso della rivoluzione ungherese: secondo la teoria di Marx non ci sarebbero potute essere rivoluzioni dopo la Rivoluzione socialista. Provare allora a mettere un marxista di fronte al fatto della rivoluzione ungherese; lui ribatterà: “Beh, posso spiegarla, è una controevoluzione” (come sostenevano i testi sovietici). La cosa è interessante perché nei classici del marxismo-lenini-

simo non si parla affatto della possibilità che in un paese socialista accerchiato dal capitalismo si possa provocare una controevoluzione grazie all'opera di agenti imperialisti infiltrati. In origine il caso non era contemplato, ma ora lo si può spiegare mediante un'ipotesi ausiliare. E' con una strategia di questo tipo *tutto* può essere spiegato, senza che ci sia alcuna predizione di un fatto nuovo corroborata. Chiamo "regressivo" [*degenerating*] ciò che non è progressivo. In realtà, i marxisti hanno continuato a fare predizioni. Ancora oggi, per esempio, una delle loro più recenti predizioni è incoerente con alcune delle predizioni originarie.

L'accumulazione di queste incoerenze *ad hoc* è un altro segno di regresso. Una divertente predizione della teoria di Marx è che è possibile che avvenga una pacifica transizione parlamentare da un sistema borghese a un sistema socialista. Stiamo "controllando" questa teoria in Cile. Mi spiace per i cileni, ma non ho dubbi che la congettura sarà confutata e chissà quale ipotesi *ad hoc* i marxisti saranno costretti a inventarsi. Vedremo che alla luce della MSRP la teoria politica marxiana costituirà nel complesso uno slittamento di problema teoricamente progressivo ma empiricamente regressivo.

Per Popper, se c'è uno slittamento di problema, allora tutto è a posto (per esempio, sarebbe così nel caso [dell'eterodosso] Trockij se fosse veramente come voi lo descrivete). Ma, tornando per un momento alle scienze naturali, la cosa curiosa è che abbiamo continuamente slittamenti di problema progressivi, eppure questi non sempre piacciono agli scienziati.

Ricaviamo una predizione, la predizione è corroborata, eppure lo scienziato in certi casi dice "questo non va bene; dimentichiamocene". [...] Altrove ho già descritto il caso storico della spettroscopia atomica e del modello atomico di Bohr, facendo riferimento a] una formula che era stata il punto di partenza dell'importante programma di ricerca sugli spettri molecolari. In seguito, si scoprì però che tale formula era infestata da anomalie, e così arrivò qualcuno che disse: "se rimpiazziamo la tal parte della formula con qualcosa di analogo ma non proprio identico, siamo in grado di ottenere dei risultati corretti". I colleghi bollarono questa mossa come un aggiustamento *ad hoc*. Eppure, [l'innovatore] ha predetto qualcosa di nuovo che è stato corroborato, e in più si scopre che l'aggiustamento funziona in *tutti* i casi e non sol-

tanto nei due o tre osservati prima. Ancora i colleghi insistono che si tratta di un aggiustamento *ad hoc*: è un caso di regresso, ma in nessuno dei sensi che ho finora descritto. A questo punto [...] introduco l'idea dell'*ad hoc*, che si applica alle teorie "rattoppate" in modo ingegnoso. Se si è fortunati, teorie siffatte possono perfino portare a predizioni vere, anche se in un certo senso non sono coerenti con lo "spirito" dello slittamento di problema. [...]

In primo luogo, se guardiamo alla storia della scienza constatamo che quello che valutiamo non è mai una lunga congiunzione di ipotesi $H_1, \dots, H_n$ (per esempio con $n = 7$) ove qualsiasi ipotesi potrebbe venire sostituita nel modo suggerito da Duhem o da Quine. No, non procediamo in tal modo. Di solito, invece, abbiamo a che fare con serie di teorie individuate da quello che io chiamo il nucleo, costituito (tanto per fissare le idee) da un minimo di due a un massimo di cinque postulati. Prendiamo la teoria di Newton: qui il nucleo è composto dalle tre leggi della dinamica più la legge di gravitazione. Ma oltre al nucleo abbiamo delle ipotesi ausiliari, che ne costituiscono la cosiddetta *cintura protettiva*. Un caso storico chiarirà il senso di quest'ultimo termine. Flamsteed, l'astronomo reale del tempo di Newton, mandò a quest'ultimo una tavola di dati sul moto lunare che mostravano che la teoria di Newton non funzionava. Newton, ricevuti questi dati, prende una carrozza e si precipita a Greenwich dove incontra Flamsteed e gli dice: "Assumiamo che qui ci sia la Terra e qui la Luna; come fare a calcolare dalle vostre osservazioni la vera posizione della Luna dato che i raggi di luce quando raggiungono l'atmosfera si rompono? Se osserviamo la Luna da questo punto, la vediamo come se fosse qui, proprio a causa di questo fenomeno". "Così", dice Newton, "ho il sospetto che non siano le mie quattro leggi a essere sbagliate, ma la vostra teoria della rifrazione atmosferica." "Qual è la vostra teoria della rifrazione atmosferica?" [chiese Flamsteed]. Newton rispose: "Va bene: vi manderò una spiegazione della mia teoria della rifrazione atmosferica; poi ricalcolate le vostre tabelle, ma non vi preoccupate di mandarmele perché sono sicuro che, dopo aver tenuto conto dell'effetto di rifrazione, andranno bene". Aveva ragione! Cose di questo genere succedono continuamente.

Quando la sua teoria venne confutata con una nuova serie dell'idrogeno, Bohr, senza nemmeno aver visto o chiesto dettagli del-

l'esperimento, scrisse una lettera in cui sosteneva che sulla base di quanto era stato affermato da Evans, era chiaro che doveva esservi dell'elio ionizzato nel tubo dell'esperimento. Evans avrebbe dovuto fare attenzione a come dell'elio ionizzato era entrato nel tubo.

Ed era davvero così. Invece di indirizzare la freccia del *modus tollens* verso il nucleo di una teoria, la si indirizza verso le ipotesi ausiliari che, in questo senso, creano una cintura protettiva intorno al nucleo. Ma non è tutto. Nei principali programmi di ricerca abbiamo un nucleo e una cintura protettiva su cui si lavora magari per secoli. La tenacia è un'unità di valutazione interessante delle teorie, non la falsificabilità. Per Popper, il massimo di una teoria scientifica è "Tutti i cigni sono bianchi", perché basta un'unica osservazione di un cigno nero a confutarla. Il che è veramente assurdo.

Se prendiamo grandi teorie della fisica come quelle di Newton, di Maxwell, di Einstein, la teoria quantistica, scopriamo che sono tremendamente complicate, sono entità in continua crescita, non statiche. Esse si sviluppano mentre il loro nucleo resta fisso, ma si articola la loro cintura protettiva, si raffina la tecnica matematica impiegata per risolvere problemi. Per esempio, ci si potrebbe chiedere: "Newton ha inventato il nucleo nei *Principia* del 1687, ma come ha fatto la sua teoria a svilupparsi dal 1687 al 1900?". La risposta è che nel XVIII secolo non si avevano i mezzi per calcolare a partire dalle equazioni di Newton, dare le velocità e le posizioni iniziali dei pianeti, il movimento di un pianeta che facesse parte di un sistema composto da altri tre o quattro corpi, perché il problema detto degli *n* corpi era irrisolvibile matematicamente con i mezzi di allora. Inoltre, che cosa succede se non abbiamo punti massa, ma corpi estesi in cui per di più il centro di simmetria non coincide con il centro di massa?

Ciò avviene, per esempio, nel caso di una luna di Saturno. (Il pianeta ha più di un satellite.) Non è per niente a forma di palla. Come si fa a calcolare l'effetto gravitazionale su un corpo irregolare? Abbiamo bisogno di integrali, e di equazioni differenziali alle derivate parziali. Per produrre tutte le tecniche matematiche necessarie per derivare predizioni da questo nucleo ci volle un paio di secoli. Nel frattempo nascono anomalie, i problemi irrisolti si moltiplicano, e così via. Le osservazioni non sono molto importanti, perché sappiamo che gli insuccessi empirici dipendo-

no in gran parte dalla mancanza di tecniche matematiche adeguate. Per questo ci vogliono cent'anni prima che una buona teoria venga pienamente sviluppata. Ovviamente, ci si deve aspettare una continua proliferazione di anomalie.

Ricapitolando: sto sostituendo l'unità descrittiva per lo studio della scienza. Non mi chiedo se una singola ipotesi sia vera o falsa, e neppure se un singolo slittamento di problema sia progressivo o regressivo, mi chiedo se un intero *programma di ricerca* sia progressivo o regressivo. È regressivo se – durante il suo sviluppo quando aggiungiamo strati di cintura protettiva, strati di tecniche matematiche ecc. – 1) non porta a nuove e sorprendenti predizioni (se non sempre, *almeno a tratti*, come ha fatto la teoria di Newton nel corso di due secoli e mezzo); oppure 2) se tutte le sue audaci predizioni vengono falsificate; e 3) se il programma di ricerca non cresce secondo un piano uniforme. È a questo scopo che introduco il concetto di euristica positiva: vale a dire una tecnica di soluzione di problemi che indica allo scienziato come "digerire" un'anomalia. Se lo si fa in maniera strana, per esempio rimpiazzando una formula di punto in bianco senza nessuna integrazione con il resto del programma, allora verrà considerata una mossa *ad hoc* [ad hoc]. Nei miei saggi ho fornito almeno una dozzina di esempi. In Popper questo concetto non c'è. Si tratta piuttosto di una nozione affine alla "semplicità" di Duhem, con la differenza però che questi sosteneva che date due congiunzioni di ipotesi bisogna scegliere quella più semplice, mentre nel mio caso abbiamo un quadro dinamico, dialettico (aspetto, questo, per cui la mia teoria è apprezzata da certi marxisti). Si giudica sempre una teoria in crescita, e la crescita della teoria deve essere di dominio pubblico. Il progresso è costituito da *fatti nuovi sorprendenti*, come il ritorno della cometa di Halley o la predizione di Einstein della curvatura della luce. Nelle scienze naturali abbiamo di continuo predizioni di questo genere, nelle scienze sociali no, e si tratta di una differenza interessante.

[...]

Vorrei infine aggiungere una cosa. Non posso di certo approfondire qui i dettagli relativi a come valutare un programma di ricerca [...]. Un aspetto importante del mio approccio è che tengo conto dei *giudizi di base* della comunità scientifica. Comincio

con una lista dei buoni e dei cattivi, a proposito della quale sono disposto però a essere flessibile. Per esempio, vorrei arrivare alla conclusione ideale che Newton è *meglio* di Tolomeo e che Einstein è *meglio* di Newton. Se una metodologia implicasse il giudizio che Tolomeo è meglio di Einstein, diventerei sospettoso: ci sarebbe qualcosa che non va nei suoi standard di valutazione. Ho scritto in un articolo [...] che la teoria di Copernico non rappresentò nessun reale progresso rispetto a quella di Tolomeo [ma...] ho cancellato tutto ciò nelle bozze perché mi insospettiva. Preferirei che Copernico facesse miglior figura di Tolomeo. Non vorrei liquidare così la rivoluzione copernicana.

Per concludere, Elie Zahar ha recentemente elaborato una originale definizione di *fatto nuovo* sulla quale non intendo dilungarmi, ma che è estremamente interessante. Vi espongo il punto cruciale del suo articolo:

“Un fatto è considerato *nuovo* rispetto a un'ipotesi o a un programma di ricerca non solo nel caso in cui esso è temporalmente nuovo, ma anche nel caso in cui non appartiene alla situazione problematica che ha regolato la *costruzione* dell'ipotesi o del programma in questione”.

Paul Karl Feyerabend

*Incommensurabilità
e anarchismo metodologico*

“Quante costellazioni vi sono nel cielo? Dipende dal modo di contarle.” Questa battuta di Paul Karl Feyerabend (1924-1994) potrebbe caratterizzare bene il relativismo che gli è stato attribuito dopo la pubblicazione di *Forewell to Reason* (1987). In precedenza, nella versione del suo *Against Method* (1975) che più aveva fatto scalpore, egli aveva indossato la maschera del “dadaista” provocatore e dell’“anarchico metodologico” soprattutto allo scopo di mettere in luce le aporie in cui cadevano le correnti filosofiche della scienza, come la *Standard View* dell’empirismo logico e il razionalismo critico di Karl Popper e dei suoi seguaci.

Nato a Vienna, fin dall’adolescenza Feyerabend coltiva svariati interessi: fisica, che diventerà l’oggetto principale degli studi universitari, ma anche filosofia, letteratura e teatro, per non dire della lirica e del bel canto. I suoi anni giovanili trascorrono nell’Austria annessa al Reich. Nel 1942 viene arruolato nell’esercito tedesco, diventa ufficiale e combatte prima nei Balcani e poi sul fronte russo. Si guadagna una croce di ferro (1944) e “tre pallottole, una in viso, una nella mano destra, e una nella spina dorsale” (1945). Parzialmente paralizzato dalla cintura in giù, quando viene dimesso dall’ospedale è ormai tempo di pace. Il Reich è stato spazzato via e Paul, dopo un breve soggiorno a Weimar dove intraprende la carriera musicale, torna in una Vienna amministrata da britannici, statunitensi, francesi e sovietici – la stessa atmosfera mirabilmente descritta dal film *Il terzo uomo* di Carol Reed. Studia fisica sotto la guida di maestri prestigiosi quali Hans Thirring (1888-1976) e Felix Ehrenhaft (1879-1952). Nel 1948, alla scuola estiva di Alpbach, conosce Karl Popper. Addottoratosi in fisica (1951), compie brevi viaggi di studio a Copenhagen, Oslo e Stoccolma, incontrando Niels Bohr (vedi p. 165). Rifiuta il posto di assistente di produzione di Bertolt Brecht (1898-1956), per potersi dedicare liberamente alla filosofia della scienza (lo definirà poi “uno dei maggiori errori della mia vita”). Fa richiesta di una borsa di studio per poter studiare con Ludwig Wittgenstein a Cambridge – “ma Wittgenstein morì e doveti scegliere un altro *supervisor*: fu Popper”. Declina quindi l’offerta di quest’ultimo di diventare

suo assistente, preferendo un posto nella periferica Università di Bristol piuttosto che in quella prestigiosa di Londra per mantenere la sua indipendenza intellettuale da quella che in seguito battezzerà la "chiesa dei popperiani". Nel 1958 si trasferisce all'Università di Berkeley: "l'America fu il primo paese a darmi una qualche idea di ciò che può essere una cultura", scrive nell'autobiografia. Solo che per cultura americana Feyerabend non intende quella filosofica dei William James (1842-1910) o dei John Dewey (1859-1952), "ma Hollywood, il vaudeville, i musical, il *irestling*, [...] insomma, l'industria dello spettacolo e altra robaccia dozzinale". Intanto tiene conferenze in università di tutto il mondo, insistendo soprattutto sulla filosofia della fisica, sulla questione del realismo, sul carattere carico di teoria degli enunciati osservativi ecc.

Se ancora alla fine degli anni Cinquanta è considerato il "mastino" di Popper, al Colloquio del Bedford College (1965) la rottura è consumata. In un saggio del 1962, "Explanation, Reduction, and Empiricism", Feyerabend giunge a una teorizzazione dell'incommensurabilità delle teorie che, a detta dello stesso Thomas Kuhn, "coincideva" in gran parte con quella esposta in *The Structure of Scientific Revolutions* (1962). (Si noti peraltro che idee che col senno di poi possono essere lette come una teoria dell'incommensurabilità erano state espresse da Le Roy, nel corso della sua polemica con Poincaré, nonché nel contesto di un'analisi logica del linguaggio del grande logico ed epistemologo polacco Kazimierz Ajdukiewicz, 1890-1963, per non dire della meditazione solitaria di Eugenio Frola, 1906-1962.) Per Feyerabend due teorie *T* e *T'* possono avere anche termini omofoni, ma in non pochi casi "*T*" può essere formulata in un idio- ma di cui alcune esplicite regole d'uso sono incompatibili con quelle di "*T'*" (fenomeno tecnicamente noto come varianza di significato). Anche se egli concede che tale incompatibilità delle regole d'uso degli idiomi coinvolti "non sia ovvia al primo sguardo: può passare un lasso di tempo considerevole prima che l'incommensurabilità di *T* e *T'* venga dimostrata". L'argomento dell'incommensurabilità è ripreso con sempre maggior respiro nelle varie versioni di *Contro il metodo* ("questo dannato e fortissimo libro", come lo definisce nelle pagine dell'autobiografia). Per esempio, in quella del 1975 leggiamo: "Abbiamo un punto di vista (teoria, sistema di riferimento, cosmo, modo di rappresentazione) i cui elementi (concetti, 'fatti', raffigurazioni) sono combinati in accordo a certi principi di costruzione. [...] Designiamo tali principi come *principi universali* della teoria in questione. La sospensione dei principi universali significa sospensione di tutti i fatti e di tutti i concetti. Designiamo infine una scoperta, o un'asserzione, o un atteggiamento *incommensurabili* col cosmo (con la teoria, con il sistema di riferimento) se ne sospende alcuni dei principi universali".

Contro il metodo era solo la prima parte di un libro a quattro mani che doveva intitolarsi *Pro and Against Method*. La difesa avrebbe dovuto essere scritta dall'amico e rivale Lakatos che agli occhi di Feyerabend, se ben in-

terpretato, si rivela "amico e compagno nell'anarchismo". Lakatos però era convinto di poter radere al suolo qualunque argomento di Feyerabend con una critica ancor più potente. La scomparsa di Lakatos (2 febbraio 1974) impedì quel progetto (anche se è stato possibile recuperare i resti di quella cattedrale distrutta in un'edizione critica uscita inizialmente in lingua italiana nel 1995). Per quanto i temi dell'incommensurabilità e del relativismo abbiano colpito filosofi e storici della scienza, le connessioni con la linguistica, l'antropologia e con lo stesso approccio sociologico appaiono ovvie, tanto più che Feyerabend ha esposto questi argomenti dallo schema di base nella polemica con Lakatos entro la filosofia della scienza a una sorta di teoria delle più generali tradizioni e forme di vita culturali, riprendendo sia alcuni spunti del saggio *On Liberty* di Mill, sia la nozione di gioco linguistico, senza per ciò aderire a quella filosofia analitica che in ambito anglosassone pretende di muovere lungo la via inaugurata dalle wittgensteiniane *Philosophische Untersuchungen*. (Feyerabend una volta ebbe a paragonarla al crimine organizzato, in virtù della sua ansia di dissolvere i rompicapo filosofici: ma allora era meglio andare al cinema a vedere i modi inediti con cui John Dillinger rapinava le banche!) In tal modo egli è venuto elaborando il principio secondo il quale "ogni cultura è in potenza tutte le culture", tema affrontato negli ultimi saggi e soprattutto in *Conquest of Abundance*, libro promesso alla quarta moglie, Grazia Borini, rimasto incompiuto e uscito postumo. Proprio per quel principio il relativismo si presenta agli occhi di Feyerabend come una forma chiusa di pensiero e di vita, non meno delle varie forme di assolutismo che pretende di liquidare. Ma ancora una volta, anche la contrapposizione relativismo-assolutismo, come a suo tempo quelle tra dogmatismo e scetticismo, tra razionalismo e anarchismo, risulta un'astrazione filosofica che può rivelarsi estremamente dannosa, qualora se ne dimentichi la genealogia e la si imponga come stereotipo contro l'"abbondanza" della vita.

Le pagine che seguono sono tratte da P.K. Feyerabend, *Against Method. Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, New Left Books, London 1975, tr. it. di L. Sosis, *Contro il metodo. Abbozzo di una teoria anarchica della conoscenza*, con prefazione di G. Giorello, Feltrinelli, Milano 1979, pp. 139-147.

Di Feyerabend si vedano anche: "Explanation, Reduction, and Empiricism", in H. Feigl e G.G. Maxwell (a cura di), *Scientific Explanation, Space, and Time*, Minnesota Studies in the History of Science, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1962, vol. III, pp. 28-97; *Come essere un buon empirista*, tr. it. a cura di G. Gava, Boringhieri, Roma 1982; *I problemi dell'empirismo*, tr. it. Lampugnani Nigri, Milano 1971; *Contro il metodo* (1970), tr. it. Lampugnani Nigri, Milano 1973; *Il relativismo scientifico e l'autorità della scienza* (1978), tr. it. a cura di A. Arrosi, il Saggiatore, Milano 1983; *La scienza in una società libera* (1980), tr. it. Feltrinelli, Milano 1981; *Scienza come arte* (1984), tr. it. a cura di

M. Pera, Laterza, Roma-Bari 1984; *Addio alla ragione* (1987), tr. it. Armando, Roma 1990; *Annazzando il tempo. Un'autobiografia*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1994; *La conquista dell'abbondanza*, a cura di B. Terpsitra, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2002; I. Lakatos e P.K. Feyerabend, *Sull'orlo della scienza. Pro e contro il metodo*, a cura di M. Motterlini, Raffaello Cortina, Milano 1995.

Per approfondire: AA.VV., *Feyerabend*, numero monografico di *L'uomo, un segno*, IV, 2-3 (1980); K. Ajdukiewicz, *Problems and Theories of Philosophy*, tr. ingl. Cambridge University Press, Cambridge 1975; F. Contigione, *Nel segno della scienza: la filosofia polacca del Novecento*, Franco Angeli, Milano 1996; R. Corvi, *I fraintendimenti della ragione. Saggio su P.K. Feyerabend*, Vita e Pensiero, Milano 1992; E. Froia, *Scritti metodologici*, con introduzione di L. Geymonat, Giapichelli, Torino 1963; G. Giorello, Prefazione a P.K. Feyerabend, *Contro il metodo* (1975), cit., pp. 1-12; Id., Prefazione a I. Hacking, *Conoscere e sperimentare*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1984, pp. v-xxv; G. Giorello e M. Mondadori, "Dinamica della conoscenza scientifica e dialettica", in U. Curi (a cura di), *La razionalità scientifica*, Francisci, Padova 1978, pp. 107-149; I. Lakatos e A. Musgrave (a cura di), *Critica e crescita della conoscenza*, tr. it. a cura di G. Giorello, Feltrinelli, Milano 1976; G. Munévar, *Beyond Reason. Essays on the Philosophy of Paul Feyerabend*, Kluwer, Dordrecht-Boston-London 1989; R. Nola e H. Sankey (a cura di), *After Popper, Kuhn and Feyerabend*, Kluwer, Dordrecht 2000; M. Pera, "Progresso scientifico, storia e valori", introduzione a P.K. Feyerabend, *Scienza come arte*, cit., pp. VII-XXVI; J.M. Preston, *Feyerabend. Philosophy, Science and Society*, Polity Press, Oxford 1997; J.M. Preston, G. Munévar e D. Lamb (a cura di), *"The Worst Enemy of Science"? Essays in Memory of Paul Feyerabend*, Oxford University Press, Oxford 2000.



L'incommensurabilità, che passeremo a discutere ora, è strettamente connessa alla questione della razionalità della scienza. In effetti una fra le obiezioni più generali non soltanto all'uso di teorie incommensurabili, ma anche all'idea che nella storia della scienza *esistano* teorie siffatte, è il timore che esse limitino severamente l'efficacia del *ragionamento* tradizionale, non dialettico. Consideriamo perciò un po' più da vicino le *norme* critiche che, secondo alcuni, costituiscono il contenuto di un'argomentazione "razionale". Più specificamente, esaminiamo le norme della scuola popperiana, della cui *razionalità* ci occuperemo qui particolarmente. Questo esame ci preparerà al passo finale della nostra di-

scussione del problema del contrasto fra metodologie della legge e dell'ordine e anarchismo nella scienza.

[... Per la prima] dev'essere possibile produrre regole, norme, restrizioni che ci consentano di separare un comportamento (pensiero, canto, drammaturgia) critico da altri tipi di comportamento, così che possiamo *scoprire* azioni irrazionali e *correggerle* con l'aiuto di suggerimenti concreti. Non è difficile produrre gli standard di razionalità difesi dalla scuola popperiana.

Questi standard sono standard *critici*: la discussione razionale consiste in un tentativo di criticare e non nel tentativo di verificare o di rendere verificabile. Ogni passo che protegge una concezione dalla critica, che la rende sicura o "ben fondata", è un allontanamento dalla razionalità. Ogni passo che la rende più vulnerabile è il benvenuto. Viene raccomandato, inoltre, di abbandonare idee che sono risultate insufficienti ed è proibito conservarle di fronte a critiche forti ed efficaci, a meno che non si possano presentare argomenti contrari persuasivi. Sviluppare le vostre idee in modo che possano essere criticate; attaccatele incessantemente; non cercate di proteggerle, ma metterle in luce i punti deboli; eliminarle non appena i loro punti deboli sono venuti in luce: queste sono alcune fra le regole prodotte dai nostri razionalisti critici.

Queste regole diventano più precise e più particolareggiate quando ci volgiamo alla filosofia della scienza e, in particolare, alla filosofia delle scienze naturali.

All'interno delle scienze naturali la critica è connessa con l'esperimento e con l'osservazione. Il contenuto di una teoria consiste nella somma totale di queste asserzioni base che la contraddicono; è questa la classe dei suoi falsificatori potenziali. Un contenuto accresciuto significa accresciuta vulnerabilità; perciò le teorie dal contenuto più esteso sono preferite alle teorie dal contenuto esiguo. Un aumento di contenuto è visto con favore, una diminuzione di contenuto dev'essere evitata. Una teoria che contraddica un'asserzione base accettata dev'essere abbandonata.

Le ipotesi *ad hoc* sono proibite ecc. ecc. Ma una scienza che accetti le regole di un empirismo critico di questo genere si svilupperà nel modo seguente.

Prendiamo l'avvio da un *problema*, per esempio il problema dei pianeti al tempo di Platone. Questo problema (che esame-

remo in una forma un po' idealizzata) non è semplicemente il risultato della *curiosità*, bensì è un *risultato teorico*. Esso è dovuto al fatto che certe *attese* sono andate deluse: da un lato sembra chiaro che le stelle devono essere divine, e perciò ci si attende che si comportino in un modo ordinato e assolutamente regolare. Dall'altro non si riesce a trovare una regolarità facilmente discernibile. I pianeti, per esempio, si muovono in un modo del tutto caotico. Come si può conciliare questo fatto con l'attesa e con i principi che sono alla base di tale attesa? Esso dimostra forse che quell'attesa è erronea? Oppure abbiamo sbagliato nella nostra analisi dei fatti? Questo è il problema.

È importante rendersi conto del fatto che gli elementi del problema non sono semplicemente *dati*. Il "fatto" dell'irregolarità, per esempio, non è accessibile senza ulteriore fatica. Esso non può essere scoperto da chiunque abbia occhi sani e intelligenza, ma diventa oggetto della nostra attenzione solo attraverso una certa attesa. O, per la precisione, questo fatto dell'irregolarità *esiste* solo perché c'è un'attesa di regolarità. Dopo tutto, il termine "irregolarità" ha senso soltanto se abbiamo una regola. Nel nostro caso la regola (che è una parte più specifica dell'attesa) asserisce un moto circolare a velocità angolare costante. Le stelle fisse sono in accordo con questa regola e così il Sole, se ne tracciamo la traiettoria relativamente alle stelle fisse. I pianeti non obbediscono invece alla regola, né direttamente, in relazione alla Terra, né indirettamente, in relazione alle stelle fisse. [...]

Per compendiare questa parte del modello popperiano: la ricerca prende l'avvio da un problema. Esso è il risultato di un conflitto fra un'attesa e un'osservazione, che a sua volta viene promossa dall'attesa. È chiaro che questa dottrina differisce dalla dottrina dell'induttivismo, nella quale fatti obiettivi entrano in una mente passiva e vi lasciano le loro tracce. Essa fu preparata da Kant, da Poincaré e dal Mill di *On Liberty*.

Una volta formulato un problema, si cerca di *risolverlo*. Risolvere un problema significa inventare una teoria che sia rilevante, falsificabile (in grado maggiore rispetto a qualsiasi altra alternativa), ma non ancora falsificata. Nel caso menzionato sopra (quello dei moti planetari al tempo di Platone), il problema è: trovare moti circolari con velocità angolare costante allo scopo di salvare i fenomeni planetari. Il problema fu risolto da Eudosso e da Eracleide Pontico.

Viene poi la *critica* della teoria che è stata proposta nel tentativo di risolvere il problema. Una critica che ha successo elimina la teoria *una volta per tutte* e crea un nuovo problema, per esempio per spiegare a) perché la teoria abbia avuto successo finora, b) perché la teoria sia naufragata.

Nel tentativo di risolvere *questo* problema, abbiamo bisogno di una nuova teoria che ripeta le conseguenze positive della teoria anteriore, che ne rinneghi gli errori e che faccia altre predizioni non fatte prima.

Queste sono alcune delle *condizioni formali* che devono essere soddisfatte da una teoria *che ambisca a sostituire con successo una teoria confutata*. Adottando queste condizioni, si procede per congetture e confutazioni a partire da teorie meno generali verso teorie più generali e si espande il contenuto della conoscenza umana.

Un numero sempre maggiore di fatti vengono *scoperti* (o costruiti con l'aiuto di attese) e poi spiegati per mezzo di teorie. Non ci sono garanzie che l'uomo risolverà tutti i problemi e che sostituirà ogni teoria che sia stata confutata con una teoria in grado di soddisfare le condizioni formali. L'invenzione di teorie dipende dal nostro talento e da altre circostanze fortuite, come una vita sessuale soddisfacente. Ma finché tali elementi non vengono meno, lo schema qui riprodotto è un'esposizione corretta della crescita della conoscenza che soddisfa le regole del razionalismo critico.

A questo punto possiamo porre due domande.

1) È *desiderabile* vivere in accordo con le regole di un razionalismo critico?

2) È *possibile* avere a un tempo una scienza quale la conosciamo e queste regole? [...]

Quanto a me, la prima domanda è molto più importante della seconda. È vero che la scienza e altre istituzioni sempre più deprimenti e anguste hanno una parte rilevante nella nostra cultura e sono al centro dell'interesse di molti filosofi (la maggior parte dei filosofi sono opportunisti). Così le idee della scuola popperiana furono ottenute generalizzando soluzioni di problemi metodologici ed epistemologici. Il razionalismo critico sorse dal tentativo di risolvere il problema di Hume e di capire la rivoluzione einsteiniana, e fu poi esteso alla politica e persino alla conduzione della propria vita privata. (Habermas e altri sembrano perciò giustificati quando definiscono Popper un positivista.) Un tale procedimento

può soddisfare un *filosofo scolastico*, che osserva la vita attraverso gli occhiali dei suoi problemi tecnici e riconosce l'odio, l'amore, la felicità solo nella misura in cui compaiono in questi problemi.

Se però consideriamo gli interessi dell'uomo e, soprattutto, il problema della sua libertà (libertà dalla fame, dalla disperazione, dalla tirannia di sistemi di pensiero stitici, e *non* l'accademica "libertà del volere"), allora stiamo procedendo nel peggiore modo possibile.

Non può darsi infatti che la scienza quale la conosciamo oggi, ovvero una "ricerca della verità" nello stile della filosofia tradizionale, sia destinata a creare un mostro? Non è possibile che essa nuoccia all'uomo, che lo trasformi in un meccanismo miserevole, freddo, ipocrita, privo di fascino e di humour? "Non può essere", si chiede Kierkegaard, "che la mia attività di osservatore obiettivo [o critico-razionale] della natura indebolisca la mia forza come essere umano?" Sospetto che la risposta a tutte queste domande debba essere affermativa e credo che una riforma delle scienze che le renda più anarchiche e più soggettive (nel senso di Kierkegaard) sia urgente.

Ma questi non sono i problemi che voglio discutere adesso. [...] Mi limiterò alla seconda domanda e chiederò: è possibile avere a un tempo una scienza quale la conosciamo e le regole di un razionalismo critico quale lo abbiamo appena descritto?

A questa domanda la risposta sembra essere un fermo e sonante no.

Per cominciare, abbiamo visto, anche se piuttosto in breve, che lo sviluppo reale di istituzioni, idee, pratiche e così via, spesso *non prende l'avvio da un problema* bensì da una qualche attività ir-rilevante, come il gioco, cosa che, come effetto collaterale, conduce a sviluppi che in seguito possono essere interpretati come soluzioni di problemi non percepiti come tali. Tali sviluppi devono essere esclusi? E se li escludiamo, non ridurremo in tal modo in misura considerevole il numero delle nostre reazioni di adattamento e la qualità del nostro processo di apprendimento?

In secondo luogo, [...] sappiamo] che un *principio rigoroso di falsificazione*, o un "falsificazionismo ingenuo", come lo chiama Lakatos, spazzerebbe via la scienza quale la conosciamo e non le avrebbe mai permesso di avere inizio.

Non viene soddisfatta neppure la domanda di un *maggiore contenuto*.

Le teorie che riescono a rovesciare un punto di vista generale e ben radicato e lo soppiantano sono ristrette inizialmente a un ambito di fatti abbastanza limitato, a una serie di fenomeni paradigmatici che le sostengono e che solo lentamente vengono estesi in altre aree. Lo possiamo vedere da taluni esempi storici [...] e risulta plausibile anche sulla base di principi generali, nel tentativo di sviluppare una nuova teoria, dobbiamo prima fare un *passo indietro* rispetto ai dati empirici e riconsiderare il problema dell'osservazione [...]. In seguito, ovviamente, la teoria viene estesa ad altri campi; ma solo raramente il modo dell'estensione è determinato dagli elementi che costituiscono il contenuto delle teorie precedenti. L'apparato concettuale lentamente emergente della teoria *comincia ben presto a definire i suoi problemi*, e i problemi, fatti e osservazioni anteriori sono o dimenticati o messi da parte come irrilevanti [...]. Questo è uno sviluppo interamente naturale e del tutto incontestabile. Perché infatti un'ideologia dovrebbe essere vincolata da problemi anteriori i quali, in ogni caso, hanno senso soltanto nel contesto abbandonato e ora ci appaiono sciocchi e innaturali? Perché mai dovrebbe *prendere in considerazione* i "fatti" che dettero origine a problemi di quel genere o che ebbero una parte nella loro soluzione? Perché non dovrebbe procedere piuttosto a modo suo, definendo da sé i propri compiti e delimitando il proprio ambito di "fatti"? Una teoria generale, dopo tutto, dovrebbe contenere anche un'ontologia, la quale ontologia determini che cosa esista e circoscriva così il campo dei fatti possibili e delle possibili domande.

Lo sviluppo della scienza è in accordo con queste considerazioni. Nuove concezioni puntano presto in direzioni nuove e considerano con disapprovazione i vecchi *problemi* (qual è il sostegno su cui poggia la Terra? Qual è il peso specifico del flogisto? Qual è la velocità assoluta della Terra?) e i vecchi *fatti* (la maggior parte dei fatti descritti nel *Malleus maleficarum* [...], le proprietà del flogisto o quelle dell'etere), che tanto impegnarono l'intelligenza dei pensatori del passato. E dove essi *dedicano* attenzione a teorie anteriori, cercano di accomodarne il nucleo fattuale nel modo già descritto, con l'aiuto di ipotesi *ad hoc*, di approssimazioni *ad hoc*, di ridefinizioni di termini, o semplicemente *asserendo*, senza alcuno studio più particolareggiato della materia, che il nucleo di fatti segue dai "nuovi principi fondamentali". Essi sono

“innestati su programmi più vecchi con cui erano palesemente incompatibili”.

Il risultato di tutti questi procedimenti è un'interessante *illustrazione epistemologica*: il contenuto *immaginato* delle teorie anteriori (che è l'intesezione delle conseguenze ricordate di tali teorie col dominio recentemente riconosciuto di problemi e di fatti) *si contrae* e può diminuire in misura tale da diventare meno esteso del contenuto *immaginato* delle nuove ideologie (le quali sono le conseguenze reali di queste ideologie *più* tutti quei “fatti”, leggi e principi che sono collegati a esse da ipotesi *ad hoc*, da approssimazioni *ad hoc* o da detti di qualche fisico o filosofo della scienza autorevole, e che appartengono propriamente alle ideologie anteriori). Confrontando il vecchio e il nuovo *appare* che il rapporto dei contenuti empirici [non è sempre di inclusione del vecchio nel nuovo. Talvolta è più probabile che una parte anche molto ampia della vecchia teoria resti inspiegata alla luce della nuova...].

Infine, a questo punto ci siamo ormai resi conto distintamente del bisogno di *ipotesi ad hoc*: le ipotesi *ad hoc* e le approssimazioni *ad hoc* creano un'area di contatto provvisoria fra i “fatti” e quelle parti di una nuova concezione che sembrano capaci di spiegarli, in un qualche tempo nel futuro e previa aggiunta di molto altro materiale. Esse specificano possibili *explananda* ed *explanantia*, e determinano in tal modo la direzione della futura ricerca. Può darsi che esse debbano essere conservate per sempre, se la nuova cornice è in parte incompiuta (ciò è accaduto nel caso della teoria quantistica, che ha bisogno dei concetti classici per trasformarsi in una teoria completa). Oppure vengono incorporate nella nuova teoria come teoremi, che conducono a una ridefinizione dei termini fondamentali dell'ideologia anteriore (ciò è accaduto nel caso di Galileo e della teoria della relatività). La richiesta che il contenuto di verità della teoria anteriore, *quale fu concepito quando la teoria anteriore regnava suprema*, venga incluso nel contenuto di verità della teoria che le succede viene violata in entrambi i casi.

In sintesi: dovunque guardiamo, qualsiasi esempio consideriamo, vediamo che i principi del razionalismo critico (prendere sul serio le falsificazioni; aumentare il contenuto; evitare ipotesi *ad hoc*; “essere onesti” qualsiasi cosa ciò significhi ecc.) e, *a fortiori*, i principi dell'empirismo logico (sii esatto; fonda le tue teorie su misurazioni; evita idee vaghe e instabili; ecc.) ci danno un quadro

inadeguato dello sviluppo anteriore della scienza e sono probabilmente destinati a ostacolare la scienza nel futuro. Essi ci danno un quadro inadeguato della scienza perché la scienza è molto più “trascurata” e “irrazionale” della sua immagine metodologica. Essi sono destinati a ostacolarla perché il tentativo di rendere la scienza più “razionale” e più precisa ha, come abbiamo visto, la conseguenza di spazarla via. La differenza fra scienza e metodologia, che è un fatto così evidente della storia, indica perciò una debolezza della seconda, e forse anche delle “leggi della ragione”. Quei caratteri che ci si presentano come “sciatreria”, “caos” od “opportunismo”, quando vengono messi a confronto con tali leggi, hanno infatti una funzione molto importante nello sviluppo di quelle stesse teorie che oggi consideriamo pari essenziali della nostra conoscenza della natura. *Queste “deviazioni”, questi “errori” sono presupposti del progresso*. Essi consentono alla conoscenza di sopravvivere nel mondo complesso e difficile in cui viviamo, ci consentono di rimanere liberi e felici. Senza “caos” non c'è “conoscenza”. Senza una frequente rinuncia alla ragione non c'è progresso. Idee che oggi formano la base stessa della scienza esistono solo perché ci furono cose come il pregiudizio, l'opinione, la passione; perché queste cose *si opposero alla ragione*; e perché *fu loro permesso di operare a modo loro*. Dobbiamo quindi concludere che, *anche all'interno* della scienza, la ragione non può e non dovrebbe dominare tutto e che spesso dev'essere sconfitta, o eliminata, a favore di altre istanze. Non esiste neppure una regola che rimanga valida in tutte le circostanze e non c'è nulla a cui si possa far sempre appello.

Ora, dobbiamo ricordare che questa conclusione è stata tratta *a condizione* che la scienza, quale la conosciamo oggi, rimanga immutata e che si permetta ai procedimenti che essa usa di determinarne anche il futuro sviluppo. *Dato che* la scienza esiste, la ragione non può essere universale e l'irrazionalità non può essere esclusa. Questo carattere peculiare dello sviluppo della scienza costituisce un forte elemento a sostegno di un'epistemologia anarchica. Ma la scienza non è sacrosanta. Le restrizioni che essa impone (e tali restrizioni sono molte, anche se non è facile elencarle) non sono necessarie perché si possano avere concezioni generali coerenti ed efficaci sul mondo. Esistono miti, esistono i dogmi della teologia, esiste la metafisica, e ci sono molti altri modi di costruire

una concezione del mondo. È chiaro che uno scambio fecondo fra la scienza e tali concezioni del mondo "non scientifiche" avrà bisogno dell'anarchismo ancora più di quanto ne ha bisogno la scienza. L'anarchismo è quindi non soltanto *possibile*, ma *necessario* tanto per il progresso interno della scienza quanto per lo sviluppo della nostra cultura nel suo complesso. E la Ragione si unisce infine alla sorte di tutti quegli altri mostri astratti come l'Obbligo, il Dover, la Morale, la Verità e i loro predecessori più concreti, gli Dei, che furono usati un tempo per incutere timore nell'uomo e per limitarne il libero e felice sviluppo: svanisce...

Lecture consigliate

Repertori e studi di storia della filosofia e della scienza: N. Abbagnano, *Storia della filosofia*, 3 voll., UTET, Torino 1969 (del 1994 è il IV vol. dedicato alla "Filosofia contemporanea", il cui primo tomo è di G. Fornero, mentre il secondo è di G. Fornero, F. Restaino e D. Aniseri); Id., *Dizionario di filosofia*, 3ª edizione aggiornata e ampliata da G. Fornero, UTET, Torino 1998; E. Bellone, *La storia della fisica moderna e contemporanea*, UTET, Torino 1990; S. Blackburn, *The Oxford Dictionary of Philosophy*, Oxford University Press, Oxford-New York 1994; R.J. Blackwell, *A Bibliography of the Philosophy of Science: 1945-1981*, Greenwood Press, Westport London 1983; U. Bottazzini, *Il flauto di Hilbert. Storia della matematica moderna e contemporanea*, UTET, Torino 1990; I.B. Cohen, *La nascita di una nuova fisica*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1974; Id., *La rivoluzione newtoniana*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1982; G. Dragoni, S. Bergia e G. Gottardi, *Dizionario biografico degli scienziati e dei tecnici*, Zanichelli, Bologna 1999; L. Geymonat (a cura di), *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, 8 voll., Garzanti, Milano 1970-1976, 1996; C.C. Gillispie (a cura di), *Dictionary of Scientific Biography*, 16 voll., Charles Scribner's Sons, New York 1970-1980; T. Honderich, *The Oxford Companion to Philosophy*, Oxford University Press, Oxford-New York 1995; M. Kline, *Storia del pensiero matematico*, 2 voll., tr. it. a cura di A. Conte, Einaudi, Torino 1991; A. Koestler, *I sonnambuli. Storia delle concezioni dell'universo*, tr. it. Jaca Book, Milano 1990; A. Koyré, *Studi newtoniani*, tr. it. Einaudi, Torino 1972; Id., *La rivoluzione astronomica*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1976; Id., *Studi galileiani*, tr. it. Einaudi, Torino 1976; E. Macorini (a cura di), *Enciclopedia della scienza e della tecnica*, 10 voll., Mondadori, Milano 1963-1965; Id. (a cura di), *Scienziati e tecnologi dalle origini al 1875*, 3 voll., Mondadori, Milano 1975; M. Mamiani, *Storia della scienza moderna*, Laterza, Roma-Bari 1998; G. Micheli (a cura di), *Scienza e tecnica nella cultura e nella società dal Rinascimento a oggi*, Einaudi, Torino 1980; P. Odifreddi, *La matematica del Novecento: dagli insiemi alla complessità*, Einaudi, Torino 2000; Paolo Rossi (a cura di), *Storia della scienza moderna e contemporanea*, 5 voll., UTET, Torino 1988; Id. (a cura di), *Filosofia*, 4 voll.,

UTET, Torino 1995; Id., *La nascita della scienza moderna*, Laterza, Roma-Bari 1997; Ch. Singer, *Breve storia del pensiero scientifico*, tr. it. Einaudi, Torino 1961; G. Tanzella-Nitti e A. Strumia (a cura di), *Dizionario interdisciplinare di scienza e fede*, 2 voll., Città Nuova, Roma 2002.

Testi di orientamento e manuali: G. Boniolo e P. Vidali, *Filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano 1999; Id., *Strumenti per ragionare*, Bruno Mondadori, Milano 2002; Id., *Manuale di filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano 2002; E. Casari, *Introduzione alla logica*, UTET, Torino 1997; M. D'Agostino e M. Mondadori, *Logica*, Bruno Mondadori, Milano 1997; M. Dalla Chiara, *Logica*, Mondadori, Milano 1980; M. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *Introduzione alla filosofia della scienza*, Laterza, Roma-Bari 1999; D. Gillies e G. Giorrello, *La filosofia della scienza nel XX secolo*, Laterza, Roma-Bari 1995; G. Giorrello, *Filosofia della scienza*, Jaca Book, Milano 1992; Id. (a cura di), *Introduzione alla filosofia della scienza*, Bompiani, Milano 1994; C. Glymour, *Dimostrare, credere, pensare*, tr. it. a cura di G. Origgi e C. Sinigaglia, Raffaello Cortina, Milano 1999; K. Lambert e G.G. Brittan, *Introduzione alla filosofia della scienza*, tr. it. Boringhieri, Torino 1981; J. Loos, *Filosofia della scienza. Un'introduzione*, tr. it. il Saggiatore, Milano 2000; C. Mangione e S. Bozzi, *Storia della logica. Da Boole ai giorni nostri*, Garzanti, Milano 1993; D. Oldroyd, *Storia della filosofia della scienza*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1993; A. Pap, *Introduzione alla filosofia della scienza*, tr. it. il Mulino, Bologna 1967; D. Papineau (a cura di), *The Philosophy of Science*, Oxford University Press, Oxford 1996; M.H. Salmon (a cura di), *Introduction to the Philosophy of Science*, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1992; Stuart G. Shanker (a cura di), *Philosophy of Science, Logic and Mathematics in the Twentieth Century*, Routledge and Kegan Paul, London 1996.

Opere di carattere generale di filosofia della scienza: J. Agassi, *Science in Flux*, Reidel, Dordrecht-Boston 1981; E. Agazzi, L. Geymonat e F. Minazzi (a cura di), *Filosofia, scienza e verità*, Rusconi, Milano 1989; D. Antiseri, *Teoria unificata del metodo*, Liviana, Padova 1981; P.D. Asquith e R. Giere (a cura di), *Proceedings of the Philosophy of Science Association*, East Lansing (Mich.) 1980; G. Bachelard, *Essai sur une connaissance ap-prochée*, Vrin, Paris 1928; Id., *Il nuovo spirito scientifico*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1978; Id., *La formazione dello spirito scientifico*, tr. it. a cura di E. Castellì Gattinara, Raffaello Cortina, Milano 1995; F. Barone, *Immagini filosofiche della scienza*, Laterza, Roma-Bari 1983; P. Barrota, *La dialettica scientifica*, UTET, Torino 1998; F. Bellissima e P. Pagli, *La verità trasmessa*, Sansoni, Firenze 1993; W.I.B. Beveridge, *L'arte della ricerca scientifica*, tr. it. a cura di F. Voltaggio, Armando, Roma 1981; Id., *Genesis della scoperta*, tr. it. Armando, Roma 1982; G. Boniolo, *Metodo e rappresentazioni del mondo. Per un'altra filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano 1999; R. Boyd, P. Glaser e J.D. Trout (a cura di), *The Philosophy of Science*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) 1991; H.I. Brown, *La nuova fi-*

losofia della scienza, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1984; N.R. Campbell, *What is Science?* (1921), Dover, New York 1952; G. Cimino, M.D. Grmek e V. Sommenzi (a cura di), *La scoperta scientifica. Aspetti logici, psicologici e sociali*, tr. it. Armando, Roma 1984; G. Cimino, U. Sanzo e G. Sava, *Il nucleo filosofico della scienza*, Congedo, Galatina (Lecco) 1991; J.A. Coffa, *La tradizione semantica da Kant a Carnap*, tr. it. a cura di A. Peruzzi, il Mulino, Bologna 1998; M. D'Agostino, G. Giorrello e S. Veca (a cura di), *Logica e politica. Scritti in onore di Marco Mondadori*, Fondazione Mondadori, Milano 2001; M. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *La scimmia allo specchio*, Laterza, Roma-Bari 1988; H. Feigl e M. Brodbeck (a cura di), *Readings in the Philosophy of Science*, Appleton Century Crofts, New York 1953; A. Fine e J. Leplin (a cura di), *Philosophy of Science Association - 1988*, Reidel, Dordrecht 1989; A.G. Gargani, *Il sapere senza fondamenti*, Einaudi, Torino 1975; E. Garin, *Filosofia e scienza nel Novecento*, Laterza, Roma-Bari 1978; G. Geymonat e G. Giorrello, "Modello", in *Enciclopedia*, vol. IX, Einaudi, Torino 1980, pp. 383-422; F. Gil, "Conoscenza", in *Enciclopedia*, vol. III, Einaudi, Torino 1979, pp. 778-805; Id., "Invenzione", in *Enciclopedia*, vol. VII, Einaudi, Torino 1979, pp. 965-992; Id., *Prove: attraverso la nozione di prova/dimostrazione*, tr. it. Jaca Book, Milano 1990; N. Goodman, *Vedere e costruire il mondo*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1998; G.G. Granger, "Metodo", in *Enciclopedia*, vol. IX, Einaudi, Torino 1980, vol. 9, pp. 237-253; I. Hacking, *Linguaggio e filosofia*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1994; R. Harré, *Le filosofie della scienza. Panorama introduttivo*, tr. it. a cura di M. Bianca, Armando, Roma 1983; M. Hesse, *Modelli e analogie nella scienza*, tr. it. a cura di C. Bicchieri, Feltrinelli, Milano 1980; J.G. Kemeny, *Il filosofo e la scienza: introduzione alla filosofia della scienza*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1972; L. Laudan, *La ricerca e i valori*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1987; J. Leplin (a cura di), *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley 1984; R. von Mises, *Manuale di critica scientifica e filosofia*, tr. it. Longanesi, Milano 1950; A. Musgrave, *Senso comune, scienza e scetticismo*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1995; E. Nagel, *La struttura della scienza*, tr. it. Feltrinelli, Milano 1968; E. Nagel, P. Suppes e A. Tarski (a cura di), *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Stanford University Press, Stanford 1962; R. Nozick, *Spiegazioni filosofiche*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1987; A. Pasquinelli, *Nuovi principi di epistemologia*, Feltrinelli, Milano 1964; M. Piattelli Palmarini, "Anticipazione", in *Enciclopedia*, vol. I, Einaudi, Torino 1977, pp. 649-677; Id. (a cura di), *Livelli di realtà*, Feltrinelli, Milano 1984; M. Polanyi, *La conoscenza personale. Verso una filosofia post-critica*, tr. it. a cura di E. Rivero, Rusconi, Milano 1990; G. Polizzi (a cura di), *Filosofia scientifica ed empirismo logico*, Unicopli, Milano 1993; L. Preta (a cura di), *Immagini e metafore della scienza*, Laterza, Roma-Bari 1993; H. Putnam, *Mente, linguaggio e realtà*, tr. it. Adelphi, Milano 1987; Id., *Matematica, materia e metodo*, tr. it. Adelphi, Milano 1993; Id., *Ragione, verità e storia*, tr. it. il Saggiatore,

Milano 1985; H. Reichenbach, *La nascita della filosofia scientifica*, tr. it. il Mulino, Bologna 1961; Paolo Rossi, *Immagini della scienza*, Editori Riuniti, Roma 1977; Id., *I ragni e le formiche. Un'apologia della storia della scienza*, il Mulino, Bologna 1986; I. Scheffler, *Scienza e soggettività*, tr. it. Armando, Roma 1983; W. Stegmüller, *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie*, Springer, Berlin 1973; Id., *Theory Construction, Structure and Rationality*, Springer, New York 1979; P. Suppes, *Studies on the Methodology and Foundations of Science*, Reidel, Dordrecht 1969; Id. (a cura di), *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, North-Holland, Amsterdam 1973; Id., *Models and Methods in the Philosophy of Science. Selected Papers*, Kluwer, Dordrecht 1993; S. Tagliagambe, *L'epistemologia contemporanea*, Editori Riuniti, Roma 1991; Id., *Epistemologia del confine*, il Saggiatore, Milano 1997; R. Thom, *Parabole e catastrofi*, a cura di G. Giorello e S. Morini, il Saggiatore, Milano 1980; Id., *Apologie du Logos*, Hachette, Paris 1990; Id., *Préface n'est pas expliquer*, Eschel, Paris 1991; S.E. Toulmin, *Che cos'è la filosofia della scienza*, tr. it. Ubaldini, Roma 1968; Id., *Gli usi dell'argomentazione*, tr. it. Rosenberg & Sellier, Torino 1975; Id., *Previsione e conoscenza. Una indagine sugli scopi della scienza*, tr. it. a cura di F. Voltaggio, Armando, Roma 1982; B. van Fraassen, *L'immagine scientifica*, tr. it. Clueb, Bologna 1985; J.W.N. Watkins, *Libertà e decisione*, tr. it. Armando, Roma 1981; Id., *Certezza e verità*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1986; Id., *Science and Skepticism*, Princeton University Press, Princeton 1984.

Su leggi e regolarità di natura – induzione e deduzione: D.M. Armstrong, *What is a Law of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge 1983; R.B. Braithwaite, *La spiegazione scientifica. Uno studio sulla funzione della teoria, della probabilità, delle leggi nella scienza*, tr. it. a cura di G. Jesurun, Feltrinelli, Milano 1966; N. Cartwright, *How the Laws of Physics Lie*, Oxford University Press, Oxford 1983; M. Dorato, *Il software dell'Univerno*, Bruno Mondadori, Milano 2000; J. Earman (a cura di), *Testing Scientific Theories*, University Minnesota Press, Minneapolis 1983; Id., *Bayes or Bust? A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) 1992; H. Feigl, *Induzione ed empirismo*, tr. it. a cura di M. Pera, Armando, Roma 1979; R. Festa, *Optimum Inductive Method. A Study in Inductive Probabilities*, Bayesian Statistics and Verosimilitude, Kluwer, Dordrecht 1994; Id., *Cambiare opinione. Temi e problemi di epistemologia bayesiana*, Clueb, Bologna 1996; A. Franklin, *The Neglect of Experiment*, Cambridge University Press, Cambridge 1986; M.C. Galavotti, *Probabilità e induzione. Metodo scientifico*, Clueb, Bologna 1992; P. Garbolino, *I fatti e le opinioni. La moderna arte della congettura*, Laterza, Roma-Bari 1997; D. Gillies, *Intelligenza artificiale e metodo scientifico*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1998; G. Giorello e M. Mondadori, "Una rinascita dell'induttivismo nella logica della scoperta scientifica?", in *Rivista di Filosofia*, 20 (1981), pp. 317-320; M. Hesse, *The Structure of*

Scientific Inference, Macmillan, London 1974; J. Hintikka, *Induzione, accettazione, informazione*, tr. it. a cura di M. Mondadori e P. Parlavacchia, il Mulino, Bologna 1974; Id., *Logica, giochi linguistici e informazione: temi kantiani nella filosofia della logica*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1975; J. Hintikka e P. Suppes (a cura di), *Aspects of Inductive Logic*, North Holland, Amsterdam 1966; C. Howson e P. Urbach, *Scientific Reasoning. The Bayesian Approach*, Open Court, La Salle (Ill.) 1989; F. Laudisa, *Causalità. Storia di un modello di conoscenza*, Carrocci, Roma 1999; M. Magnani, *Abduction, Reason, and Science. Processes of Discovery and Explanation*, Kluwer, New York 2001; P. Medewar, *Induzione e intuizione nel pensiero scientifico*, tr. it. Armando, Roma 1970; M. Mondadori, "Induzione statistica", in *Enciclopedia*, vol. VIII, Einaudi, Torino 1979, pp. 384-430; A. Murra, *La sfida scettica. Saggio sul problema logico dell'induzione*, ETS, Pisa 1992; M. Pera, *Hume, Kant e l'induzione*, il Mulino, Bologna 1982; C. Pizzi (a cura di), *Leggi di natura, modalità, ipotesi. La logica del ragionamento controfattuale*, Feltrinelli, Milano 1978; Id., *Eventi e cause*, Giuffrè, Milano 1997; N. Rescher, *Scientific Explanation*, Free Press, New York 1970; W.C. Salmon, *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, Princeton 1984; W.C. Salmon et al., *Statistical Explanation and Statistical Relevance*, University of Pittsburgh, Pittsburgh 1971; B. Skyrms, *Introduzione alla logica induttiva*, tr. it. il Mulino, Bologna 1974; Id., *Causal Necessity. A Pragmatic Investigation of the Necessity of Laws*, Yale University Press, New Haven-London 1980; B. van Fraassen, *Laws and Symmetry*, Clarendon Press, Oxford 1989.

Teoria, osservazione ed esperimento: P. Achinstein e O. Hannaway (a cura di), *Observation, Experiment and Hypotheses in Modern Physical Science*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) 1985; D. Batens e J.P. van Bendegam (a cura di), *Theory and Experiment*, Reidel, Dordrecht 1988; N.R. Campbell, *Foundations of Science. The Philosophy of Theory and Experiment*, Dover, New York 1957; A. Franklin, *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge University Press, Cambridge 1990; P. Gallison, *How Experiments End*, The University of Chicago Press, Chicago 1987; G. Giorello, "Ipotesi, calcoli, conoscenza", in *Enciclopedia*, vol. XV, Einaudi, Torino 1982, pp. 916-947; C. Glymour, *Theory and Evidence*, Princeton University Press, Princeton 1980; N. Goodman, *Fatti, ipotesi e previsioni*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1985; I. Hacking, *Conoscere e sperimentare*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1987; G. Rigamonti, *Teoria e osservazione. Un'interpretazione storica*, Clueb, Bologna 1984.

Metafisica e scienza: J. Agassi, *Le radici metafisiche delle teorie scientifiche*, tr. it. Borla, Roma 1983; S. Amsterdamski, *Between Experience and Metaphysics: Philosophical Problems of the Evolution of Science*, Reidel, Dordrecht-Boston 1975; S. Amsterdamski et al., *Intellegibilità e costruzione scientifica*, tr. it. Franco Angeli, Milano 1984; W.W. Bartley III, *Come demarcare la scienza dalla metafisica*, tr. it. Borla, Roma 1983; G. Giorello e

M. Mondadori, "Metafisica", in *Enciclopedia*, vol. IX, Einaudi, Torino 1980, pp. 160-188; G. Reale e D. Antiseri, *Quale ragione?*, Raffaello Cortina, Milano 1999; J. Watkins, *Tre saggi su scienza e metafisica*, tr. it. Borla, Roma 1983.

Critica e crescita della conoscenza: I.B. Cohen, *La rivoluzione nella scienza*, tr. it. Longanesi, Milano 1989; A.C. Crombie (a cura di), *Scientific Change*, Basic Books, New York 1963; U. Curi (a cura di), *La razionalità scientifica*, Francis, Padova 1978; Id. (a cura di), *Discorsi e sensate esperienze*, Clueb, Padova 1981; R. Egidi (a cura di), *La svolta relativistica nell'epistemologia contemporanea*, Franco Angeli, Milano 1988; A. Grünbaum, "Can a Theory Answer More Questions than One of its Rivals?", in *The British Journal for the Philosophy of Science*, 27 (1976), pp. 1-23; Id., "Ad hoc Auxiliary Hypotheses and Falsificationism", in *The British Journal for the Philosophy of Science*, 27 (1976), pp. 329-362; I. Hacking (a cura di), *Rivoluzioni scientifiche*, tr. it. a cura di G. Giorlo, Laterza, Roma-Bari 1984; M. Hesse, *Revolutions and Reconstructions in the Philosophy of Science*, The Harvester Press, Brighton 1980; E.W. Hobson, *The Domain of Natural Science*, Dover, New York 1968; C. Howson (a cura di), *Critica della ragione scientifica. Metodo e valutazione nelle scienze fisiche*, tr. it. Il Saggiatore, Milano 1981; L. Laudan, *Il progresso scientifico. Prospettive per una teoria*, tr. it. Armando, Roma 1977; Id., *Scienza e relativismo. Controversie chiave in filosofia della scienza*, tr. it. Armando, Roma 1997; E. McMullin (a cura di), *Construction and Constraint: the Shaping of Scientific Rationality*, University of Notre Dame Press, Notre Dame 1988; M. Marsot, *La verità fallibile. Pragmatismo e immagine scientifica del mondo*, Franco Angeli, Milano 1997; W.H. Newton-Smith, *The Rationality of Science*, Routledge and Kegan Paul, London 1981; D.A. Pearce, *Roads to Commensurability*, Reidel, Dordrecht 1987; M. Pera, *Apologia del metodo*, Laterza, Roma-Bari 1982, 1996 (seconda ediz. rivista); Id., *Scienza e retorica*, Laterza, Roma-Bari 1991; Id. (a cura di), *Il mondo incerto*, Laterza, Roma-Bari 1994; M. Pera e J.C. Pitt (a cura di), *I modi del progresso*, il Saggiatore, Milano 1985; M. Pera e W. Shea (a cura di), *L'arte della persuasione scientifica*, tr. it. Guerini Associati, Milano 1992; A. Petroni, *I modelli, l'invenzione, la conferma. Saggio su Keplero, la rivoluzione copernicana e la "New Philosophy of Science"*, Franco Angeli, Milano 1990; J.C. Pitt (a cura di), *Change and Progress in Modern Science*, Reidel, Dordrecht 1985; J.C. Pitt e M. Pera (a cura di), *Rational Changes in Science. Essays on Scientific Reasoning*, Reidel, Dordrecht-Boston 1987; G. Radnitzky e A. Andersson (a cura di), *Progress and Rationality of Science*, Reidel, Dordrecht 1978; N. Rescher (a cura di), *Reason and Rationality in Science*, University Press of America, Washington 1985.

La filosofia della scienza in Italia: E. Agazzi (a cura di), *La filosofia della scienza in Italia nel '900*, Franco Angeli, Milano 1986; M. Dalla Chiara (a cura di), *Italian Studies in the Philosophy of Science*, Reidel, Boston-Lon-

don 1980; G. Giorlo (a cura di), *L'immagine della scienza. Il dibattito sul significato dell'impresa scientifica nella cultura italiana*, il Saggiatore, Milano 1977; F. Minazzi, *L'epistemologia come ermeneutica della ragione: studi sul razionalismo critico da Antonio Banfi a Evandro Agazzi*, ERGA, Genova 1998; F. Minazzi e L. Zanzi (a cura di), *La scienza tra filosofia e storia in Italia nel Novecento*, Istituto Poligrafico e Zecca di Stato, Roma 1987.

Temi e problemi delle filosofie delle scienze particolari: E. Agazzi, *Introduzione all'assionistica*, Vita e Pensiero, Milano 1961; Id., *Temi e problemi di filosofia della fisica*, Manfredi, Milano 1969; Id. (a cura di), *L'objectivité dans les différentes sciences*, Éditions Universitaires Fribourg Suisse, Fribourg 1988; D. Antiseri, *Trattato di metodologia delle scienze sociali*, UTET, Torino 1996; G. Bachelard, *L'attività razionalista della fisica moderna*, tr. it. Jaca Book, Milano 1986; R.E. Backhouse, *Explorations in Economic Methodology: from Lakatos to Empirical Philosophy of Science*, Routledge, London-New York 1998; E. Bellone, *I modelli e la concezione del mondo nella fisica moderna da Laplace a Bohr*, Feltrinelli, Milano 1973; Id., *I nomi del tempo*, Bollati Boringhieri, Torino 1989; D. Bloor, *La dimensione sociale della conoscenza*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1994; L. Boltzmann, *Modelli matematici, fisica e filosofia*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1999; G. Boniolo (a cura di), *Filosofia della fisica*, Bruno Mondadori, Milano 1997; P.W. Bridgman, *La logica della fisica moderna*, tr. it. Boringhieri, Torino 1965; Id., *La natura della teoria fisica*, tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1965; E. Casari, *Questioni di filosofia della matematica*, Feltrinelli, Milano 1965; C. Cellucci (a cura di), *La filosofia della matematica*, Laterza, Bari 1967; Id., *Le ragioni della logica*, Laterza, Roma-Bari 1998; I.B. Cohen, *Scienze della natura e scienze sociali*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1993; R.S. Cohen e M. Wartofsky (a cura di), *Methodological and Historical Essays in the Natural and Social Sciences*, Reidel, Dordrecht 1974; G. Cosmolini, *L'arte lunga. Storia della medicina dall'antichità a oggi*, Laterza, Roma-Bari 1997; Id., *Ciò che conta e medicina*, Raffaello Cortina, Milano 1998; D. Costantini, *Fondamenti del calcolo delle probabilità*, Feltrinelli, Milano 1970; Id., *Introduzione alla probabilità*, Boringhieri, Torino 1977; D. Costantini e M.C. Galavotti (a cura di), *Filosofia della scienza e fondamenti della probabilità e della statistica*, Clueb, Bologna 1991; M. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *Le teorie fisiche*, Boringhieri, Torino 1981; B. de Finetti, *Teoria delle probabilità*, Einaudi, Torino 1970; Id., *La logica dell'incerto*, a cura di M. Mondadori, il Saggiatore, Milano 1989; M.P. De-lattre, *Système, structure, fonction, évolution. Essai d'analyse épistémologique*, Moline, Paris 1971; M. Dorato, *Futuro aperto e libertà. Un'introduzione alla filosofia del tempo*, Laterza, Roma-Bari 1997; J. Earman, *A Primer on Determinism*, Reidel, Dordrecht 1986; B. d'Espagnat, *I fondamenti concettuali della meccanica quantistica*, tr. it. Bibliopolis, Napoli 1980; M. Ferrari e I.-O. Stamatescu (a cura di), *Symbol and Physical Knowledge. On the Conceptual Structure of Physics*, Springer, Berlin-Heidelberg 2002;

G. Federspil, *I fondamenti del metodo chimico e sperimentale*, Piccin, Padova 1980; G. Ghirardi, *Un'occhiata alle carte di Dio*, il Saggiatore, Milano 1997; N. Goodman, *I linguaggi dell'arte*, tr. it. a cura di F. Brioschi, il Saggiatore, Milano 1976; A. Grünbaum, *Philosophical Problems of Space and Time*, Alfred A. Knopf, New York 1963; Id., *I fondamenti della psicoanalisi: una critica filosofica*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1988; I. Hacking, *L'emergenza della probabilità*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1987; G. Israel, *La visione matematica della realtà*, Laterza, Roma-Bari 1996; J.M. Jauch, *Sulla realtà dei quanti*, tr. it. Adelphi, Milano 1980; S.J. Latsis (a cura di), *Method and Appraisal in Economics*, Cambridge University Press, Cambridge 1976; F. Laudisa, *Le correlazioni pericolose*, Il Poligrafo, Padova 1999; D. Lindley, *La logica della decisione*, tr. it. a cura di M. Mondadori, il Saggiatore, Milano 1990; L. Linsky (a cura di), *Semantica e filosofia del linguaggio*, tr. it. il Saggiatore, Milano 1969; G. Lolli, *La macchina e le dimostrazioni*, il Mulino, Bologna 1987; L. Magnani (a cura di), *Conoscenza e matematica*, Marcos y Marcos, Milano 1991; Id., *Ingegnerie della conoscenza*, Marcos y Marcos, Milano 1997; M. Mamiani, *Il prisma di Newton. I meccanismi dell'invenzione scientifica*, Laterza, Roma-Bari 1987; J. Mehra, *The Quantum Principle: Its Interpretation and Epistemology*, Reidel, Dordrecht 1974; R. Penrose, *Il grande, il piccolo e la mente umana*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1998; G. Peruzzi (a cura di), *Scienza e realtà*, Bruno Mondadori, Milano 2000; I. Prigogine, *La fine delle certezze: il tempo, il caos e le leggi della natura*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1997; I. Prigogine e I. Stengers, *La nuova alleanza: metamorfosi della scienza*, tr. it. a cura di P.D. Napolitano, Einaudi, Torino 1981; H. Reichenbach, *Filosofia dello spazio e del tempo*, osservazione introduttiva di R. Carnap, prefazione di L. Geymonat, tr. it. Feltrinelli, Milano 1977; N.T. Roseveare, *Mercury's Perihelion from Le Verrier to Einstein*, Clarendon Press, Oxford 1982; A. Salam, *L'unificazione delle forze fondamentali*, tr. it. Rizzoli, Milano 1990; H.A. Simon, *Le scienze dell'artificiale*, tr. it. il Mulino, Bologna 1988; J.D. Sneed, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, Dordrecht 1971, 1979 (seconda ediz.); G. Tarozzi e A. van der Merwe (a cura di), *Open Questions in Quantum Physics*, Reidel, Dordrecht 1985; G. Toraldo di Francia, *L'indagine del mondo fisico*, Einaudi, Torino 1976; Id., *Le cose e i loro nomi*, Laterza, Roma-Bari 1986; Id., *Un universo troppo semplice*, Feltrinelli, Milano 1990; Id., *Tempo Cambiamento Invarianza*, Einaudi, Torino 1994; R. Viale, *Metodo e società nella scienza*, Franco Angeli, Milano 1981; J. von Neumann, *I fondamenti matematici della meccanica quantistica*, tr. it. Il Poligrafo, Padova 1998; C.H. Waddington, *Evoluzione di un evolucionista*, tr. it. a cura di F. Voltaggio, Armando, Roma 1979; H. Weyl, *Filosofia della matematica e delle scienze naturali*, tr. it. Boringhieri, Torino 1967; G.H. von Wright, *Spiegazione e comprensione*, tr. it. il Mulino, Bologna 1977; H.R. Wulff, S.A. Pedersen e R. Rosenberg, *Filosofia della medicina*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1995.

Indice analitico

- Abduzione, 76
 Ajdukiewicz, Kazimierz, 318
 Amici, Giovan Battista, 19
 Analisi logica, 114, 120, 201, 203-204
 Analitico/sintetico, 104, 201, 219, 221, 223-224, 269-270, 273-274, 276-277
 Anarchismo (metodologico), 307, 317, 319, 321, 328
 Anomalia, 45, 292, 301, 303, 308-312, 314-315
 Anticipazione, 3
A priori / a posteriori, 31, 101, 104-105, 131, 205
 Approfondimento per contraddizioni e correzione, 255-257, 292
 Arago, Jean-François-Dominique, 19, 118
 Aristarco di Samo, 179, 187
 sistema di, 182, 187
 Aristotele, 3, 84, 130, 178, 180, 271, 278, 296-297
 Asserzioni base, 253-254, 321
 Atomo (atomismo), 67, 89, 148, 158, 161, 164, 166-168, 173, 183, 185-187, 299
 Babbage, Charles, 19-20
 Bachelard, Gaston, 292
 Bacon, Francis (Bacone), 3-4, 20, 23, 32, 37, 46, 51
 Balmer, Johann Jakob, 161-162
 Barone, Francesco, 217
 Barocchi, Claudio, 102
 Base empirica, 254
 Bentham, Jeremy, 32
 Bergson, Henri, 246
 Berkeley, George, 86
 Bernoulli, Jakob, 56
 Berzelius Jöns Jakob, 29
 Besso, Michele, 148
 Biot, Jean-Baptiste, 19, 117
 Bohr, Aage, 161, 164
 Bohr, Christian, 161
 Bohr, Harald, 161
 Bohr, Niels, 6, 158-159, 161-173, 183-184, 200, 304, 312-313, 317
 Boltzmann, Ludwig, 148, 199
 Bolyai, János, 100
 Boole, George, 75
 Borges, Jorge Luis, 271
 Born, Max, 148, 159, 163, 175
 Borini, Grazia, 319
 Bottazzini, Umberto, 102
 Brahe, Tycho, 55, 121, 123, 146
 Brecht, Bertolt, 317
 Brewster, David, 19, 47
 Broglie, Louis Victor de, 114, 159
 Brown, Robert, 147
 Brunetière, Ferdinand, 126
 Bruni, Giordano, 125
 Campbell, Donald, 58
 Candolle, Augustin-Pyrame de, 61
 Cannizzaro, Stanislao, 63
 Canoni dell'induzione, 36, 38-39, 41, 45
 Carnap, Rudolf, 2, 4, 6, 199-201, 208,

- 217-230, 231-232, 236-240, 269, 275, 279-280, 291
 Cartan, Elie, 149
 Carsetio, 93, 96, 296
 Cassirer, Ernst, 4, 137-146
 Castelnuovo, Guido, 125
 Causalità, 21-22, 24, 26-28, 31, 33-34, 36, 38-39, 41, 45, 79, 92-93, 166, 168, 193-194, 207, 260, 263-267, 279
 Cavendish, Henry, 298-299
 Cézanne, Paul, 296
 Chadwick, James, 176
 Churchill, Winston, 164
 Circolo di Vienna *vedi* Empirismo logico
 Clark, Peter, 305
 Coerenza, 208, 232-233
 Cohen, Hermann, 137
 Collingwood, Robin George, 282
 Colombo, Cristóforo, 91
 Complementarietà, principio di, 164, 168-169, 173
 Comte, Auguste, 201
 Concordanza delle induzioni, 46, 54, 64
 Conferma, 51, 137, 149, 215, 219, 242, 276, 280-281, 310
 paradossi della, 281
 Confutazione, 51, 258, 305
 Congettura, 51, 92, 305
 Conring, Hermann, 45
 Conseguenza logica, 224
 Costatazione, 208, 233
 Contraddizione, principio di (non), 31, 124
 Controllo (empirico), 1, 52, 63, 114, 116, 125, 241, 252, 284
 Convenzionalismo, 5, 100, 126, 254, 308
 Convenzione, 101, 105-106, 110-111, 126
 Cooke, Josiah Parsons, 63-64
 Copernico, Niccolò, 2, 49, 115, 179-180, 296, 300-301, 308, 316
 sistema di, 182
 Corrispondenza, principio di, 163-164, 258
- Corroborazione, 241-242, 244, 246, 250, 258, 304
 Coster, Daniel, 162
 Coulomb, Charles-Augustin de, 298-299
 Crick, Francis Harry, 58, 185
 Critica razionale, 321
 Croce, Benedetto, 58, 126
 Crookes, William, 64
- Darwin, Charles Robert, 1, 3, 20, 57-62, 243, 271, 278
 Deduzione, 20, 45, 76, 87, 93, 131, 145, 190, 192, 200, 248-249, 256, 258, 283, 285, 289
 De Finetti, Bruno, 219
 Delbrück, Max, 185
 Demarcazione, problema della, 4, 65, 201, 242, 250-252, 255, 307-308
 Democrito, 185, 187, 247
 Determinismo, 114, 175, 266-267
 Dewey, John, 318
 Dillinger, John, 319
 Dimostrazione, 116, 118, 196, 259, 285-286, 305
 per assurdo, 116
 Dionisi, Andrea, 125
 Dirac, Paul, 176, 185
 Disciplina, 1, 5-6, 28, 152-153, 292, 294-296
 Dogmatismo, 291, 294, 303, 308, 319
 Dray, William, 282-284, 286-289
 Duham, Pierre, 2, 4, 70, 113-124, 148, 200, 244, 260, 270, 304, 313, 315
 Dukas, Elen, 150
- Eccles, John Carew, 247
 Economia, 58, 70, 87, 126, 208
 della natura, 62, 85, 113
 del pensiero, 152, 156
 Eddington, Arthur Stanley, 200, 310
 Ehrenhaft, Felix, 317
 Einstein, Albert, 2-3, 69, 85, 147-160, 164, 176, 182-184, 200-201, 209, 234, 271, 278, 297, 300-301, 303, 308, 310, 314-316
 Elementi chimici, 29, 66-68
 legge periodica degli, 63-64, 183

- Empirismo, 183-184, 186-187, 201, 252, 272
 logico, 4-5, 87, 114, 127, 139, 191, 199-201, 206, 231, 240, 246, 269, 279, 282, 291, 326
 Enciclopedia, 5, 233, 241-242
 Encke, Johann Frank, 26
 Enriques, Federico, 2, 5, 85, 99, 115, 125-136
 Enunciato
 esistenziale, 224
 protocollare, 4, 208, 233-240, 259, 261-265
 Epicieli ed eccentrici, sistema degli, 55, 179-180
 Epistemologia naturalizzata, 272, 292
 Eracle Pontico, 322
 Erodoto, 91
 Esperimento, 4, 25, 28, 34-35, 37, 46, 50, 80, 87, 114, 141-142, 167, 173, 207, 243, 253, 292, 297, 309, 321
 cruciale, 23, 101, 117, 123, 244, 304, 309-310
 Euclide, 100, 110, 116
 Eudosso, 322
 Euristica, 183, 304, 315
 Evans, Evan Jenkin, 314
 Evoluzione, 83, 272
 Evolucionismo, 2, 126, 292
- Fallibilismo, 75, 80-83, 127, 303
 Fallibilità/infallibilità, 42-43, 76-77, 79-80, 82, 84
 Falsificabilità, criterio della, 4, 242, 246, 252, 255, 309, 322
 Falsificazione, 28, 65, 162, 218, 240-244, 249, 251, 255, 305, 309, 321-322, 324, 326
 Falsificazionismo, 114, 303, 308
 sostituito, 4
 Faraday, Michael, 85, 154-155, 181
 Fatio, 20, 22, 101, 114, 124, 130, 134, 144, 149, 322-323, 325-326
 nuovo, 3, 23, 28-29, 45, 53, 63-64, 294, 300, 303-304, 311, 315-316
 scientifico, 101, 128-130, 132
 Fermi, Enrico, 176
 Feyrabend, Paul Karl, 5, 7, 164-165, 292, 306-307, 317-328
- Fiscalismo, 218, 228, 232, 234, 236
 FitzRoy, Robert, 57
 Flamsteed, John, 313
 Forza/campo, 154-159, 164, 181-182
 Foucault, Jean-Bernard-Léon, 117
 Franck, James, 163
 Frank, Philipp, 199, 218, 231
 Franklin, Benjamin, 82, 296, 298-301
 Frege, Gottlob, 189, 199, 207, 275-276
 Fresnel, Augustin, 117
 Freud, Sigmund, 150, 304
 Fritz, Kurt von, 176
 Froia, Eugenio, 318
- Galilei, Galileo, 2, 85-86, 97, 102, 108, 113, 115, 131, 134, 157, 180, 184, 204, 256-257, 308, 326
 legge di, 97, 141, 180, 256-257
 Galvani, Luigi, 301
 Gandhi, Mohandas Karamchand, 150
 Gardiner, Patrick, 282
 Gauss, Carl Friedrich, 69
 Gentile, Giovanni, 126
 Geometrie non euclidee, 2, 100, 104, 125
- Gestalt*, teoria della, 292
Gestaltico, riorientamento, 292
 Geymonat, Ludovico, 5, 175, 259-268
 Giardina, Andrea, 125
 Gibbs, Josiah Willard, 181
 Gillies, Donald, 190, 233
 Giovannini, Adriano *vedi* Enriques, Federico
 Giustificazione, conteso della, 4, 246
 Gladstone, John Hall, 64
 Gmelin, Leopold, 64
 Gödel, Kurt, 199, 218
 Goodman, Nelson, 281
 Gravitazione, teoria della, 51, 56, 99, 102, 113, 121, 144, 148-149, 153-155, 157, 180, 200, 299-300
 Gray, Asa, 58
 Gruppo, struttura matematica di, 182, 186
- Habermas, Jürgen, 323
 Hacking, Ian, 70
 Hadamard, Jacques, 114

- Hahn, Hans, 164, 199-200, 208, 218, 231
 Hall, Asaph, 99
 Halley, Edmund, 310, 315
 Hamilton, William Rowan, 19, 164
 Hanson, Norwood, 292
 Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, 247
 Heidegger, Martin, 176, 218, 234
 Heisenberg, Werner, 3, 148, 160, 163, 291
 Hempel, Carl Gustav, 4-5, 219, 279-290, 291
 Henslow, John Steven, 1
 Herbert, William, 61
 Herschel, Caroline Lucretia, 19
 Herschel, Friedrich Wilhelm, 19
 Hirschel, John Frederick William, 3-4, 19-29, 45, 57, 114, 246, 260, 303
 Hertz, Gustav Ludwig, 163
 Hertz, Heinrich Rudolf, 69-74, 137-138, 150, 154, 163, 304
 Hewes, György von, 162
 Hilbert, David, 218, 279
 Hitler, Adolf, 150, 177
 Humboldt, Alexander von, 19
 Hume, David, 4, 221, 245, 250, 269, 274, 276, 323
 Huygens, Christian, 117, 133
 Incommensurabilità, 5, 149, 292, 318-320
 Indebolimento di una teoria, 241
 Indeterminazione, principio di, 163
 Indeterminismo, 175
 Induzione, 20, 24, 27-28, 31-32, 35, 39, 45-48, 51, 54, 65, 76-77, 87, 94-96, 113, 118-119, 121-122, 131, 138-142, 145, 190, 196, 198, 201, 219, 241, 250, 252, 256-257, 280, 285, 289, 308, 322
 matematica, 104
 Inerzia, principio di, 86, 106-108
 Infallibilità *vedi* Fallibilità/infallibilità
 Inferenza, 4
 Intelligenza Artificiale, 45, 247
 Ipparco di Nicea, 179
 Ipotesi, 20, 22, 46, 50, 52-54, 64, 76, 85, 87, 92-94, 106, 108-109, 114-119, 123-124, 126, 131, 134, 144, 149, 152, 208, 212, 248
ad hoc, 162, 182, 254, 258, 304-305, 311-313, 321, 323-326
 ausiliari, 136, 304, 311-312, 314
 James, William, 75, 126, 318
 Jeffreys, Harold, 191
 Jényns, Leonard, 57
 Jordan, Ernst Pascual, 148, 175
 Kaluza, Theodor, 149
 Kant, Immanuel, 4, 65, 104, 130, 138, 189, 201, 205, 250, 269, 322
 Kaufmann, Felix, 199
 Kaufmann, Walter, 101
 Kepler, Johannes, 2, 48-51, 53, 55-56, 96-97, 113, 121, 134, 144-145, 256-257, 271, 278, 280
 leggi di, 48, 54, 97, 108, 119-123, 132-133, 135, 256-257
 Keynes, John Maynard, 190, 219
 Kierkegaard, Søren, 324
 Klein, Felix, 125
 Klein, Oskar, 149
 Koffka, Kurt, 292
 Köhler, Wolfgang, 292
 Kraft, Victor, 199
 Kramers, Hendrick Anton, 163
 Kuhn, Thomas Samuel, 2, 59, 280, 291-301, 303, 307, 318
Kuhn's loss (perdita kuhniana), 292
 Lagrange, Joseph-Louis de, 69, 73, 297
 Lakatos, Imre, 2, 4-5, 162, 303-316, 318-319, 324
 Lamarck, Jean-Baptiste de Monet de, 58
 Laplace, Pierre Simon de, 114, 117, 135, 175, 267
 Lardner, Dionysius, 20
 Lavoisier, Antoine-Laurent, 66, 101, 296, 300-301
 Le Roy, Edouard, 5, 101, 126, 318
 Legge, 3, 21, 26-29, 31, 33, 37, 39, 79, 83-84, 90, 101, 107, 109, 111-112, 118, 122, 139, 144, 193, 195-197, 227, 232, 239, 255, 267, 279, 286, 288, 297
 di copertura, 281, 283-285, 288
 di natura, 20, 26-27, 35, 63, 119, 157, 166, 175-176, 180, 186, 215, 221, 255, 267
 logica, 32
 probabilistica (o statistica), 282, 284
 Leibniz, Gottfried Wilhelm, 20, 45, 138, 207, 269, 304
 Leonardo da Vinci, 115
 Lessing, Gotthold Ephraim, 160
 Leucippo, 247
 Le Verrier, Urbain-Jean-Joseph, 91
 Levi-Civita, Tullio, 149
 Lie, Sophus, 100
 Linguaggio teorico/osservativo, 227, 281, 318
 Lobachevskij, Nikolaj Ivanovič, 100, 103-104
 Locke, John, 86, 269, 274, 276
 Logica della scienza, 32, 48, 75-76, 79, 124, 218, 220-221, 224-225
 Lorentz, Hendrik Antoon, 102, 156-157, 182, 184
 Luigi XIV, re di Francia, 289
 Lukács, György, 305
 Lyell, Charles, 57, 61, 296
 Mach, Ernst, 2-3, 59, 69-70, 85-97, 113-114, 126, 148, 154, 183, 199, 200, 208, 217
 Malthus, Thomas Robert, 58
 Marx, Karl, 247, 304, 311-312
 Marxismo, 205, 247, 309
 Matrice disciplinare, 291, *vedi anche* Paradigma
 Maxwell, James Clerk, 69-70, 118, 147, 154-156, 176, 182, 314
 Meccanica quantistica, 139, 148-149, 163-164, 175, 183, 185-186, 270, 278, 292, 298
 delle matrici, 148, 161, 163, 175
 ondulatoria, 163, 183
 Meccanicismo, 85, 160
 Meiner, Lise, 164
 Mendel, Gregor, 58
 Mendeleev, Dmitrij Ivanovič, 3, 63-68
 Mengert, Karl, 199, 201
 Merton, Robert K., 305, 307

- Metafisica, 32, 45, 85, 204-206, 218, 232, 236, 242, 252, 280, 304
 Metodo
 congiunto della concordanza e della differenza, 38
 dei residui, 38-39
 della concordanza, 33, 36-38, 40
 della differenza, 33, 36-40
 delle variazioni concomitanti, 41
 ipotetico deduttivo, 29
 sperimentale, 20, 116, 118
 Mill, James, 32
 Mill, John Stuart, 3-4, 20-21, 31-44, 45-46, 65, 87, 95-96, 101, 114, 175, 190, 201, 245, 259, 303, 319, 322
 Moore, George Edward, 189
 Morris, Charles, 219, 231
n corpi, problema degli, 100, 314
 Nagy, Imre, 306
 Nathan, Otto, 150
 Natop, Paul, 137
 Nelböck, Johann, 209
 Neopositivismo *vedi* Empirismo logico
 Neurath, Otto, 2, 4, 113, 199-200, 208, 218, 231-243, 269, 271, 304
 Newcomb, Simon, 100
 Newton, Isaac, 19, 45-46, 48-51, 54, 85-86, 92-94, 96-97, 99, 102, 108, 113, 117, 119-123, 131, 134, 148, 150, 153-155, 157-158, 180, 182, 184, 256-257, 271, 278, 296-297, 304, 308-310, 313-316
 leggi di, 97, 119, 135, 157, 195, 200, 256-257, 299
 Nietzsche, Friedrich, 58
 Nominalismo, 111
 Olismo, 259, 270
 Omero, 271, 278
 Oppenheim, Paul, 281
 Oppenheimer, Julius Robert, 150, 164
 Oscar II, re di Svezia, 99
 Osservazione, 50, 91, 97, 114, 169, 176, 183, 196, 207, 243, 259, 262, 265, 279, 292, 297, 321, 325

- Paci, Enzo, 137
 Palmerston, Henry John Temple, 32
 Paradigma, 280, 291-292, 295-301, 325
 Parmenide, 247
 Particelle elementari, teoria delle, 176-178, 185-187
 Pauli, Wolfgang, 162-163, 176, 178
 Peacock, George, 19
 Peano, Giuseppe, 126, 189
 Peirce, Benjamin, 75
 Peirce, Charles Sanders, 4-5, 59, 75-84, 126, 273
 Perrin, Jean-Baptiste, 148
 Perturbazione/i, 54, 56, 91, 107-108, 122-123, 135, 299
 Pickering, Edward Charles, 162
 Pitagora, 182
 Planck, Max, 85, 102, 158-159, 161-162, 175, 182, 184, 199, 214, 292, 301
 Platone, 179, 182, 247, 321-322
 Podolski, Boris, 148
 Poincaré, Jules-Henri, 3, 5, 99-112, 113-114, 126, 189, 200, 245, 318, 322
 Polanyi, Michael, 305, 307
 Popper, Karl Raimund, 4, 20, 59, 102, 113-114, 148, 162, 190, 218, 233, 240-244, 245-258, 281-282, 291, 303-306, 308-312, 314-315, 317-318, 323
 Positivism, 183-184, 213, 215, 250, 254
 logico *vedi* Neopositivismo
 Precessione, 56
 Predizione, 53, 279
 Probabilità, 25, 78, 79, 190, 194, 196-197, 219, 221, 280
 interpretazione soggettivistica della, 219
 Profondità *vedi* Approfondimento
 Programmi di ricerca, 304, 314-315
 metafisici, 246, 304
 scientifici, 308
 Protocollo *vedi* Enunciato protocol-lare
 Prove, 48, 53, 122, 198
 Pseudoproblema, 89-90, 201, 218, 226
 Psiconalisti, 205, 247, 309

- Quanti, teoria dei, 102, 147, 158, 161-162, 175, 182-187, 247, 314, 326
 Quine, Willard Van Orman, 4-5, 114, 164, 219, 259, 269-278, 292, 304, 313
 Ramsey, Frank, 191, 219
 Razionalismo critico, 4, 319, 324, 326
 Reed, Carol, 317
 Reichenbach, Hans, 6, 190, 200, 242, 279-280
 Relativismo, 233, 272, 317, 319
 Relatività, 167, 171-172, 175-176, 182-184, 247, 299, 326
 generale, 113, 139, 148-149, 156-158, 200, 220, 310
 principio di, 147-148
 ristretta (o speciale), 102, 148-149, 156-157, 186, 199-200
 Rembrandt, Harmenszoon van Rijn, 296
 Riduzione, 164
 Riduzionismo, 6, 218, 227-230, 274-276
 Riemann, Bernhard, 100
 Rignano, Eugenio, 125
 Rivoluzione scientifica, 5, 153, 161, 292
 Rompicapo, 291, 294, 300-301, 319
 Röntgen, Wilhelm Conrad, 301
 Roosevelt, Franklin Delano, 150
 Rosen, Nathan, 148
 Russell, Bertrand, 100, 150, 189-198, 200-203, 205, 207, 217, 245
 autonomia di, 189
 Ruthenford, Ernest, 161-162, 184
 Ryle, Martin, 289
 Savage, Leonard J., 219
 Schiaparelli, Giovanni Virginio, 133
 Schiller, Ferdinand, 126
 Schlipf, Paul, 149, 304
 Schlick, Moritz, 2, 4, 139, 199-202, 207-216, 231, 233, 251, 260, 279, 305
 Schrödinger, Erwin, 159, 163
 Scienza normale, 291, 299-301
 Scoperta, contesto della, 4, 48, 246
 Sedgwick, Adam, 46
 Selezione naturale, 57, 60-61
 Semplicità, criterio della, 55, 149, 178-180, 182-184
 Severi, Francesco, 125
 Shakespeare, William, 296
 Significanza empirica, criterio della, 207-208, 218, 231, 270, 277, 280
 Sillogismo, 32, 94-95
 Simoniina, 269-270, 273-274
 Sinassi, 219, 222, 225
 Slater, John Clarke, 163
 Smith, Adam, 296
 Sommerfeld, Arnold, 163
 Sottodeterminazione teorica, 69-74, 150, 271
 Spazio-tempo, 153-159, 163, 183
 Spencer, Herbert, 84
 Spiegazione, 3, 21, 279, 281-282, 286, 288
 mediante leggi di copertura, 281, 283-285, 288-289
 mediantare ragioni, 282, 287-288, 290
 probabilistica (statistica), 284, 287, 289
 Stabilità, 99-100, 114
 Stalin, Josif Vissarionovič, 165
Standard View, 317
 Strassman, Fritz, 164
 Stumpf, Carl, 217
 Swedenborg, Emanuel, 65
 Swift, Jonathan, 99
 Szabo, Arpad, 305
 Tarski, Alfred, 219
 Taylor, Harriet, 32
 Teilhard de Chardin, Pierre, 58
 Teoria/osservazione, 4, 87, 124, 183, 219, 260, 280, 292
 Thirring, Hans, 317
 Thomson, Joseph John, 155, 161
 Tolleranza, principio di, 218
 Tolomeo, sistema di, 2, 179, 271, 278, 296, 308, 316
 Tradizione, 170-173
 Traduzione, indeterminazione della, 271
 Trocki, Lev Davidovič (pseud. di L.D. Bronstein), 312
 Uniformità della natura, 31-32, 194-195, 201
 Unità della scienza, 5, 86, 203, 226, 228, 230, 231-232, 234-235, 238, 282
 Verificabilità, criterio della, 246, 252, 263, 321
 Verificazione, 4, 26-28, 48, 107, 114, 131, 211-216, 218, 238, 241, 251, 255, 259, 273-274, 276, 279, 281, 309-311
 Volta, Alessandro, 163, 298
 Voltaire (François Marie Arouet), 191
 Vuillemin, Jules, 114
 Waismann, Friedrich, 217, 251
 Watson, James Dewey, 58, 185
 Weber, Max, 232
 Weierstrass, Karl, 100
 Weizmann, Chaim, 150
 Wertheimer, Max, 292
 Weyl, Hermann, 148
 Wheeler, John Archibald, 164
 Whewell, William, 2-4, 20-21, 31, 45-56, 58, 63, 96, 114, 246, 280, 303-304
 Whitehead, Alfred North, 189, 217, 269, 295
 Wittgenstein, Ludwig, 191, 200-201, 205, 207, 217, 219, 292, 317
 Worrall, John, 305
 Wright, Chauncey, 75
 Young, Thomas, 117
 Zahar, Elie, 305, 316

