

Roberto Festa

Corso di Filosofia della scienza

Anno Accademico 2006-2007

**BREVISSIMA INTRODUZIONE ALLA FILOSOFIA DELLA
SCIENZA**

Indice

Introduzione

Capitolo primo. *Uno sguardo sulla filosofia della scienza nel Novecento*

Capitolo secondo. *La natura della conoscenza scientifica*

1. Il significato degli enunciati scientifici
2. I criteri di verificabilità e di falsificabilità
3. Il problema della demarcazione tra scienza, pseudoscienza e metafisica

Capitolo terzo. *La valutazione delle ipotesi: induttivismo e falsificazionismo*

1. Scoperta e giustificazione delle ipotesi
2. Deduzione e induzione
3. La giustificazione induttiva delle ipotesi
4. Il falsificazionismo di Popper

Capitolo quarto. *La spiegazione scientifica*

1. Causalità e leggi nella spiegazione scientifica
2. Il modello nomologico di spiegazione di Carl Gustav Hempel
3. Un'alternativa al modello hempeliano della spiegazione

Capitolo quinto. *Osservazione e teoria*

1. La struttura delle teorie scientifiche
2. La tesi e il problema di Duhem
3. Realismo e antirealismo

Capitolo sesto. *Rivoluzioni e razionalità nello sviluppo della scienza*

1. Scienza normale e rivoluzioni scientifiche: la teoria della scienza di Thomas Kuhn
2. Programmi di ricerca, razionalità e progresso scientifico

Capitolo settimo. *Rotture epistemologiche. La filosofia della scienza di Gaston Bachelard*

Capitolo ottavo. *Implicazioni epistemologiche della rivoluzione nella fisica del Novecento*

Capitolo nono. *Filosofia della complessità*

Testi consigliati

Lecture

- Lettura 1. Karl Raimund Popper, *La demarcazione tra scienza e pseudoscienza*
- Lettura 2. Rudolf Carnap, *Le leggi scientifiche e la loro giustificazione induttiva*
- Lettura 3. Carl Gustav Hempel, *La funzione delle leggi nella spiegazione scientifica*
- Lettura 4. Thomas Kuhn, *Scienza normale, paradigmi e rivoluzioni scientifiche*
- Lettura 5. Gaston Bachelard, *La nozione di ostacolo epistemologico*

Introduzione

La **filosofia della scienza** o **epistemologia**, dal termine greco *episteme*, che significa “scienza”, si occupa dei problemi filosofici posti dalla ricerca scientifica e dai suoi risultati. Per esempio, i filosofi della scienza cercano di rispondere a domande di questo genere: In che modo la conoscenza scientifica si differenzia da altri tipi di conoscenza o di credenza? Come possiamo giustificare un’ipotesi scientifica o, al contrario, mostrare che è infondata? Come dovremmo usare la conoscenza scientifica per spiegare i fenomeni già noti e prevederne di nuovi? Lo scopo della scienza consiste solo nel fornire un’adeguata rappresentazione degli eventi osservabili o anche nell’individuare le strutture profonde e inosservabili della realtà? Nel cambiamento scientifico, cioè nel passaggio dalle vecchie alle nuove teorie si realizza, oppure no, un vero e proprio progresso scientifico, cioè un avvicinamento agli obiettivi ultimi della scienza?

Nel primo capitolo faremo alcuni richiami storici sullo sviluppo della filosofia della scienza nel Novecento. Nei sei capitoli successivi illustreremo i temi centrali della recente riflessione epistemologica, come la natura della conoscenza scientifica (cap. 2), la valutazione delle ipotesi (cap. 3), la spiegazione scientifica (cap. 4), i rapporti tra l’osservazione e le teorie scientifiche (cap. 5) e i problemi relativi al cambiamento e al progresso nella scienza (capp. 6 e 7). Nell’ottavo capitolo prenderemo in considerazione alcune implicazioni epistemologiche della rivoluzione nella fisica del Novecento, con particolare riferimento alla meccanica quantistica. Infine, nell’ultimo capitolo ci occuperemo dei problemi epistemologici sollevati dalle cosiddette teorie della complessità, sviluppate nel corso degli ultimi decenni nell’ambito di diverse discipline scientifiche.

Capitolo primo

Uno sguardo sulla filosofia della scienza nel Novecento

MACH, POINCARÉ E DUHEM. Nella riflessione di Auguste Comte (1798-1857) e dei positivisti la scienza veniva considerata il paradigma della conoscenza, poiché aveva a suo fondamento l'esperienza. A cavallo tra l'Ottocento e il Novecento, l'austriaco Ernst Mach (1838-1916) e i francesi Henri Poincaré (1854-1912) e Pierre Duhem (1861-1916), ricollegandosi alle idee dei positivisti e, prima ancora, di David Hume e degli empiristi del XVII secolo, condussero ricerche di grande originalità sulla filosofia e la storia delle scienze naturali. I tre studiosi erano accomunati dal fatto di essere nello stesso tempo scienziati e filosofi. In particolare, Mach diede notevoli contributi alla fisica mentre Poincaré è stato uno dei più importanti matematici e fisici del suo tempo. Secondo **Mach** la scienza non può spingersi al di là dell'orizzonte degli eventi osservabili e le leggi scientifiche hanno l'unico scopo di descrivere con la massima semplicità le relazioni tra i fenomeni. L'idea che la **semplicità** svolga un ruolo fondamentale nell'accettazione delle teorie scientifiche viene condivisa da **Poincaré** (sul ruolo metodologico della semplicità vedi cap. 9.1). A giudizio di Poincaré le leggi della meccanica newtoniana non sono né verità *a priori* né verità sperimentali bensì **convenzioni**, scelte per la loro semplicità tra le molte possibili. Ne segue che tali leggi, benché suggerite in qualche modo dall'esperienza, non possono essere rifiutate sulla base di osservazioni o esperimenti. Alcuni aspetti della filosofia della scienza di Poincaré, nota sotto il nome di **convenzionalismo**, vennero criticati da Duhem. Anche se non portò rilevanti contributi alla fisica, con i suoi studi di storia e filosofia della scienza **Duhem** ha avuto un'enorme influenza sulla riflessione epistemologica del Novecento, come si vedrà nel seguito di questo capitolo.

IL NEOEMPIRISMO. Il primo e più influente movimento nella filosofia della scienza del Novecento fu il **neoempirismo** o **empirismo logico** – noto anche come **neopositivismo** o **positivismo logico**. Prese le mosse dal cosiddetto **Circolo di Vienna** che si riunì in quella città per dodici anni, a partire dal 1922, quando il fisico e filosofo tedesco Moritz Schlick (1882-1936) vi arrivò per occupare la cattedra di filosofia delle scienze induttive che era stata di Mach. Nel 1936 Schlick fu assassinato da uno studente nazista e nel 1938 Hitler occupò l'Austria, annettendola alla Germania. Queste tragiche circostanze costrinsero all'esilio la maggior parte dei membri del Circolo, molti dei quali si stabilirono negli Stati Uniti e in Inghilterra, esercitando così una grande influenza sulla filosofia angloamericana.

I membri del Circolo di Vienna, tra i quali un ruolo di spicco fu svolto dallo studioso tedesco Rudolf Carnap (1891-1970) e dal sociologo e filosofo austriaco Otto Neurath (1882-1945), e gli studiosi a loro vicini della cosiddetta Scuola di Berlino, come Hans Reichenbach (1891-1953) e Carl Gustav Hempel (1905-1997), avevano tutti una

formazione scientifica. Sulla scia di Hume, Comte e Mach, i neoempiristi affermano la necessità di fondare tutta la conoscenza sull'esperienza. Pertanto rifiutano con forza le pretese della metafisica, ritenendo che gli enunciati metafisici non abbiano alcun rapporto con l'esperienza e siano quindi privi di significato. Il neoempirismo viene grandemente influenzato dai rivoluzionari sviluppi della fisica tra il 1900 al 1930 che conducono alla sostituzione della meccanica newtoniana con la teoria della relatività e la meccanica quantistica. Di fronte all'inatteso e rapido abbandono della teoria di Newton, che era stata considerata certa per più di due secoli, i neoempiristi ripropongono con forza il problema, già affrontato da Hume, di stabilire se, e in che modo, l'evidenza sperimentale consenta una **giustificazione induttiva** delle teorie scientifiche. Da ammiratori della scienza e, in particolare, della nuova fisica, ritengono che un compito fondamentale della filosofia sia quello di analizzare la struttura logica della scienza così da chiarire le proprietà che la rendono un'attendibile fonte di conoscenza

Un elemento innovativo dell'empirismo logico rispetto alla tradizione empirista è richiamato proprio dall'aggettivo "logico". Questo si riferisce all'intento dei neoempiristi di utilizzare come strumento principale dell'analisi filosofica della scienza la moderna **logica matematica** sviluppata a cavallo del Novecento dallo studioso tedesco Gottlob Frege (1848-1925) e dal matematico e filosofo inglese Bertrand Russell (1872-1970). Oltre ai concetti propriamente scientifici tipici delle varie discipline, come "massa", "molecola" e "gene", gli scienziati fanno uso di nozioni di grande importanza filosofica, come "conferma", "spiegazione" e "teoria scientifica". Notando che questi termini vengono di solito impiegati con un significato vago e impreciso, i neoempiristi affermano che occorre procedere alla loro "**esplicazione**" o "**ricostruzione razionale**": occorre cioè compiere un'analisi rigorosa del significato di tali termini, così da ottenerne una definizione logicamente esatta e priva di ogni ambiguità.

KARL POPPER. La notevole chiarezza con cui vennero esposte le concezioni dei neoempiristi rese più facile la formulazione di obiezioni. Uno dei primi critici del neoempirismo fu il filosofo austriaco **Karl Raimund Popper** (1902-1994) che intrattenne stretti legami con i membri del Circolo di Vienna, al punto di essere considerato, per bocca di Neurath, l'oppositore ufficiale del Circolo. Popper affronta gli stessi problemi trattati dai neoempiristi, proponendo però soluzioni profondamente diverse. In particolare, rifiuta l'idea neoempiristica che le ipotesi scientifiche possano essere giustificate induttivamente sulla base dell'evidenza osservativa. In alternativa all'induttivismo dei neoempiristi, Popper suggerisce una concezione del tutto diversa del metodo scientifico, nota come **falsificazionismo** (su cui vedi cap. 3.4).

LE EPISTEMOLOGIE POSTPOSITIVISTE. Il neoempirismo restò la concezione standard nella filosofia della scienza fino a tutti gli anni cinquanta del secolo scorso. Nel ventennio successivo si affermarono, a opera di autori come gli ungheresi Michael Polanyi (1891-1976) e Imre Lakatos (1922-1974), gli statunitensi Thomas S. Kuhn (1922-1996), Norwood Hanson (1924-1967) e Larry Laudan (1941-vivente), l'inglese Stephen Toulmin (1922-vivente) e l'austriaco Paul K. Feyerabend (1924-1994), nuove prospettive teoriche, talvolta comprese sotto l'etichetta di **epistemologie**

postpositiviste. I postpositivisti si occupano soprattutto degli aspetti dinamici della scienza, rivolgendo la loro attenzione al cambiamento scientifico. I meccanismi del cambiamento scientifico costituiscono appunto il tema principale del volume *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962) di **Thomas Kuhn**, che alcuni considerano come l'atto di nascita del postpositivismo.

Nei primi trent'anni del Novecento la filosofia della scienza è fiorita soprattutto nell'area germanica; successivamente, anche in seguito alla massiccia emigrazione degli studiosi tedeschi e austriaci in fuga dal nazismo, l'area angloamericana è diventata la sede principale degli studi epistemologici. Occorre però ricordare che anche in Francia si è sviluppata, seguendo vie molto diverse da quelle percorse dalla filosofia della scienza di matrice germanica e angloamericana, un'importante corrente della filosofia della scienza contemporanea che ha trovato in **Gaston Bachelard** (1864-1962) il suo rappresentante più influente.

2.1. Il significato degli enunciati scientifici

L'attività scientifica richiede un vasto insieme di conoscenze, alcune delle quali *non* si possono facilmente descrivere e trasmettere attraverso il linguaggio; si pensi, per esempio, alla capacità di utilizzare i sofisticati apparati necessari a compiere determinati esperimenti o alle competenze richieste per applicare il sapere scientifico nella costruzione di ponti, missili e altri artefatti tecnologici. E' tuttavia innegabile che un ingrediente fondamentale della scienza è costituito da conoscenze espresse nel linguaggio, attraverso determinati **enunciati** o **insiemi di enunciati**; è questo il caso delle **teorie scientifiche** che possono venire espresse sia in forma scritta, su manuali e riviste, sia in forma parlata, per esempio nelle lezioni universitarie o nei congressi scientifici. Di conseguenza, quando ci chiediamo quale sia la natura della conoscenza scientifica e che cosa la differenzi da altri tipi di conoscenza o di credenza, come la metafisica, la pseudoscienza o le credenze religiose, converrà partire dall'**analisi logica degli enunciati scientifici** per stabilire se il significato di tali enunciati abbia caratteristiche peculiari.

2.2. I criteri di verificabilità e di falsificabilità

IL CRITERIO DI VERIFICABILITÀ DEI NEOEMPIRISTI. Dobbiamo ai neoempiristi la prima analisi approfondita del significato degli enunciati scientifici. Poiché sono convinti che la conoscenza scientifica si fondi interamente sull'esperienza, i neoempiristi cercano di precisare il modo in cui il significato degli enunciati scientifici è in relazione con l'esperienza. A tale scopo propongono il **criterio di verificabilità**, per distinguere gli enunciati dotati di significato, o **enunciati significanti**, da quelli che ne sono privi. Secondo tale criterio, noto anche come **criterio verificazionista di significato**, dire che un enunciato è significativo equivale ad affermare che è *empiricamente verificabile*, cioè che possiamo indicare le condizioni osservabili che, qualora si realizzassero, renderebbero vero quell'enunciato. Se accertiamo che si è realizzata qualcuna delle condizioni che rendono vero un enunciato significativo, diremo che lo abbiamo *verificato*. In molti casi siamo in grado di verificare un enunciato direttamente attraverso l'osservazione. Per esempio, è sufficiente entrare nello studio e volgere lo sguardo alla poltrona per stabilire con certezza se l'enunciato "C'è un gatto bianco sulla poltrona nel mio studio" è vero oppure no.

ENUNCIATI OSSERVATIVI E IPOTESI TEORICHE. Riferendosi a enunciati di questo genere i neoempiristi parlano di **enunciati osservativi**. La scienza non comprende soltanto

enunciati osservativi, ma anche enunciati che non si possono verificare direttamente mediante l'osservazione, come le **ipotesi teoriche**, cioè le ipotesi scientifiche contenenti **termini teorici** (quali, ad esempio, "forza" e "massa"), che si riferiscono a entità inosservabili. Nei primo decennio di attività del Circolo di Vienna i neoempiristi sostengono che anche le ipotesi teoriche sono empiricamente verificabili e quindi, in base al criterio di verificabilità, significanti. Sono infatti convinti che il **valore di verità** di un'ipotesi teorica, cioè il fatto che sia vera oppure falsa, possa venire stabilito sulla base dell'osservazione, anche se non in maniera diretta. A loro avviso, infatti, l'osservazione consente di determinare direttamente i valori di verità di determinati enunciati osservativi che si trovano in particolari relazioni logiche con l'ipotesi teorica; sulla base di tali valori di verità si potrà derivare il valore di verità dell'ipotesi.

LE CRITICHE DI POPPER AL CRITERIO DI VERIFICABILITÀ. Il criterio di verificabilità fu ben presto sottoposto a obiezioni severe. In particolare risultarono molto efficaci le critiche rivolte da Karl Popper in *Logik der Forschung (Logica della scoperta scientifica, 1934)*. In polemica con i neoempiristi, Popper sostiene che le ipotesi scientifiche *non* possono essere verificate sulla base dell'evidenza osservativa; occorre quindi rifiutare il criterio di verificabilità, se non vogliamo classificare come prive di significato proprio le ipotesi scientifiche, che costituiscono invece, secondo un'opinione largamente accettata e condivisa sia da Popper sia dai neoempiristi, un esempio paradigmatico di enunciati significanti.

L'impossibilità, sottolineata da Popper, di verificare le **ipotesi scientifiche** dipende dal fatto che tali ipotesi **hanno carattere universale**, sono cioè caratterizzate dalla forma "Tutti gli *A* sono *B*". Poiché un'ipotesi universale – si pensi, per esempio, alla legge di gravitazione – si riferisce a un'infinità di potenziali esempi, anche se potessimo verificare ogni singolo caso dell'ipotesi, le nostre osservazioni, che sono di numero finito, non potrebbero mai permetterci di verificarla conclusivamente, cioè di concludere che è certamente vera. Possiamo facilmente comprendere questo punto considerando una semplice ipotesi universale come "Tutti i corvi sono neri". Per verificare questa ipotesi dovremo osservare tutti i corvi passati, presenti e futuri. Nell'impossibilità di farlo, neppure l'osservazione di milioni di corvi neri ci consente di stabilire con certezza la verità dell'ipotesi, poiché non possiamo escludere l'eventualità di imbatterci, prima o poi, in un corvo rosa o di altro colore che la falsificherebbe. Proprio in questo modo la scoperta di cigni neri in Australia ha falsificato l'ipotesi "Tutti i cigni sono bianchi".

IL CRITERIO DI FALSIFICABILITÀ DI POPPER. Vi è dunque una netta **asimmetria tra verificabilità e falsificabilità** delle ipotesi universali: mentre nessuna osservazione o esperimento può verificare un'ipotesi universale, è sufficiente l'osservazione di un singolo oggetto o evento per falsificarla, cioè per rifiutarla come falsa. Popper si serve di tale asimmetria per enunciare il suo **criterio di falsificabilità**. Diversamente dal criterio di verificabilità, che mirava a distinguere gli enunciati significanti da quelli privi di significato, il criterio popperiano è un **criterio di demarcazione** che, nell'ambito degli enunciati significanti, mira a distinguere gli enunciati scientifici da quelli non scientifici. Il criterio di falsificabilità identifica gli enunciati scientifici con gli **enunciati**

falsificabili, cioè con gli enunciati di cui possiamo accertare empiricamente la falsità, attraverso appropriati esperimenti od osservazioni. Per esempio, “Tutti i corvi sono neri” e “Tutti i cigni sono bianchi” sono entrambi enunciati scientifici, poiché sono entrambi ugualmente falsificabili (anche se solo il secondo è già stato effettivamente falsificato). Gli enunciati falsificabili includono, a giudizio di Popper, non solo le ipotesi universali che si riferiscono a entità osservabili, come l’ipotesi dei corvi, ma anche le ipotesi teoriche, come la meccanica newtoniana o la teoria della relatività (**Lettura 1**).

2.3. Il problema della demarcazione tra scienza, pseudoscienza e metafisica

L’ATTEGGIAMENTO ANTIMETAFISICO DEI NEOEMPIRISTI. Almeno a partire da Hume e Kant, i filosofi hanno cercato di individuare i tratti specifici che differenziano la scienza moderna dalla metafisica e da altre forme di conoscenza o di credenza. Nel ventesimo secolo questo compito è stato affrontato, fra gli altri, dai neoempiristi e da Popper che, nelle loro analisi, si sono avvalsi dei criteri di verificabilità e di falsificabilità. Mentre i neoempiristi si sono interessati soprattutto alla distinzione tra scienza e metafisica, Popper si è occupato particolarmente di quella tra scienza e pseudoscienza.

I neoempiristi hanno un atteggiamento nettamente ostile alla metafisica e ritengono che le teorie metafisiche siano prive di valore conoscitivo. Secondo **Carnap** l’analisi logica del linguaggio dei metafisici consente di mostrare che le loro proposizioni sono letteralmente prive di significato. Per esempio, Carnap sottopone ad analisi logica la frase “Come sta la cosa con il Nulla? Il Nulla nulleggia”, compresa in un passaggio di *Che cos’è la metafisica?* (1929) di Martin Heidegger, e osserva che non possiamo in alcun modo precisare le condizioni che, se si realizzassero, renderebbero vero l’enunciato “Il Nulla nulleggia”. Occorre dunque concludere, in base al criterio di verificabilità, che si tratta di un enunciato privo di senso.

IL RUOLO EURISTICO DELLA METAFISICA SECONDO POPPER. Pur condividendo l’ostilità dei neoempiristi per la metafisica di Heidegger, Popper ha un atteggiamento molto diverso nei riguardi della metafisica in generale. A suo avviso, infatti, i grandi sistemi metafisici creati nella storia della filosofia occidentale, dall’atomismo antico all’idealismo di Hegel, sono costituiti da enunciati dotati di significato. Tuttavia, a differenza degli enunciati scientifici, gli enunciati metafisici non sono falsificabili, cioè non possono venire controllati, ed eventualmente rifiutati, sulla base dell’esperienza. I sistemi metafisici possono però svolgere un importante ruolo *euristico* (dal greco *eurisko*, “scoprire”), cioè di aiuto nella ricerca e nell’elaborazione di interessanti ipotesi scientifiche. Un esempio di questo genere è dato dall’atomismo, proposto nell’antichità da Leucippo e Democrito e poi ripreso nel Seicento da diversi filosofi e scienziati. Per circa due millenni l’atomismo è stato formulato come una dottrina metafisica, non suscettibile di falsificazione empirica. Successivamente, nel corso dell’Ottocento, gli scienziati inglesi John Dalton (1766-1844) e James Clerk Maxwell (1831-1879) lo riformularono in termini più esatti, nel tentativo di risolvere alcuni problemi relativi alla combinazione chimica e al comportamento dei gas. In tal modo l’atomismo si

trasformò gradualmente in una vera e propria ipotesi scientifica, che venne ulteriormente perfezionata, e poi accettata, nel corso del Novecento.

LA DISTINZIONE POPPERIANA TRA SCIENZA E PSEUDOSCIENZA. A giudizio di Popper gli enunciati dotati di significato ma non falsificabili comprendono, oltre a quelli della metafisica, anche le teorie appartenenti alle cosiddette pseudoscienze. Diversamente dalla metafisica, queste ultime pretendono di essere ben confermate dai fatti osservabili. In altri termini, i sostenitori delle pseudoscienze tendono a considerare le loro concezioni come autenticamente scientifiche, alla pari della fisica, della chimica e delle altre scienze naturali. Se oggi si conviene largamente che l'astrologia sia una pseudoscienza, vi sono altre dottrine il cui statuto scientifico è più problematico. Per esempio, il Novecento è stato animato da accese discussioni sulla scientificità della psicanalisi e del marxismo. Popper ha preso parte attiva a queste discussioni e si è sforzato di dimostrare che, nonostante le pretese di molti sostenitori, la psicanalisi e il marxismo vanno considerati pseudoscienze, poiché sono formulati in maniera tale da impedire il controllo empirico dei loro enunciati e l'eventuale falsificazione.

La valutazione delle ipotesi: induttivismo e falsificazionismo

3.1. Scoperta e giustificazione delle ipotesi

CONTESTO DELLA SCOPERTA E CONTESTO DELLA GIUSTIFICAZIONE. Prima di trovar posto nei manuali universitari che introducono gli studenti alle conoscenze fondamentali delle diverse discipline, le teorie scientifiche devono affrontare un lungo viaggio, nel corso del quale vengono inventate, sviluppate, sottoposte a severi controlli e, infine, accettate dalla grande maggioranza degli studiosi. Nella prima metà del ventesimo secolo quasi tutti i filosofi della scienza, dai neoempiristi ai loro critici come Popper, manifestano la convinzione che il percorso dalla scoperta all'accettazione delle ipotesi scientifiche comprenda due tratti essenzialmente diversi: nel primo, noto come **contesto della scoperta**, un'ipotesi viene ideata e sviluppata; nel secondo, noto come **contesto della giustificazione**, viene valutata razionalmente, e talvolta giustificata, sulla base dell'evidenza empirica.

NON VI È NESSUNA LOGICA DELLA SCOPERTA. Secondo i neoempiristi e Popper, il processo della scoperta non è governato da alcuna regola logica. Un esempio addotto da alcuni autori per mostrare il carattere intuitivo della scoperta scientifica, e l'impossibilità di ricondurla all'applicazione di regole logiche, è quello della scoperta della struttura ciclica del benzene a opera del chimico tedesco Friedrich August Kekulé (1829-1896). A quanto sembra, Kekulé avrebbe avuto l'idea quando, addormentatosi davanti alle fiamme del caminetto, sognò catene di atomi che si muovevano come serpenti di fuoco che si afferravano di tanto in tanto la coda, così da formare un anello chiuso. Esempi di questo genere suggeriscono che gli strumenti concettuali della filosofia della scienza sono inappropriati per l'analisi del contesto della scoperta, del quale dovrebbero invece occuparsi discipline empiriche come la storia, la sociologia e la psicologia della scienza.

POSSIBILITÀ DI UNA LOGICA DELLA GIUSTIFICAZIONE. I neoempiristi e Popper condividono anche la convinzione che il contesto della giustificazione, diversamente da quello della scoperta, sia governato da regole logiche identificabili mediante l'analisi filosofica. Tuttavia dissentono aspramente circa la natura di tali regole. Mentre i neoempiristi e, in seguito, molti altri studiosi, che potremmo chiamare **induttivisti**, ritengono che le regole logiche da utilizzare nella valutazione empirica delle ipotesi abbiano carattere induttivo, Popper pensa che la **logica della giustificazione** abbia carattere deduttivo. Prima di illustrare queste diverse concezioni, sarà opportuno dare qualche chiarimento sulla distinzione tra inferenze deduttive e induttive.

3.2. Deduzione e induzione

INFERENZE DEDUTTIVE. Un'**inferenza** consente di derivare, sulla base di regole appropriate, un enunciato detto **conclusione** da uno o più enunciati detti **premesse**. Possiamo distinguere due tipi fondamentali di inferenze, vale a dire le inferenze deduttive e le inferenze induttive.

Un'**inferenza deduttiva** è caratterizzata dal fatto che la conclusione deriva *necessariamente* dalle premesse, nel senso che non è possibile che le premesse siano vere e la conclusione falsa. La necessità della conclusione rispetto alle premesse dipende dal fatto che tutte le informazioni contenute nella conclusione sono già incluse, più o meno esplicitamente, nelle premesse, cioè dal fatto che la conclusione non dice *nulla di nuovo* rispetto alle premesse. Questi tratti distintivi dell'inferenza deduttiva possono venire chiaramente riconosciuti nel seguente sillogismo:

<i>Premessa 1</i>	Tutti i corvi sono neri.	
<i>Premessa 2</i>	Tutti gli uccelli viventi in quest'isola sono corvi.	
		_____ <i>Quindi</i>
<i>Conclusione</i>	Tutti gli uccelli viventi in quest'isola sono neri.	

La linea orizzontale sotto le premesse sta a indicare che la conclusione viene inferita deduttivamente dalle premesse.

Nell'analisi del metodo scientifico un ruolo molto importante viene svolto, come vedremo, da un tipo di inferenza deduttiva, già individuato dagli stoici, noto come **modus tollendo tollens** (che potremmo tradurre, più o meno, come "modalità che nega qualcosa col negarne un'altra"), o **MTT**. La forma di MTT può essere rappresentata così:

<i>Premessa 1</i>	Se <i>A</i> allora <i>B</i> .	
<i>Premessa 2</i>	Non <i>B</i> .	
		_____ <i>Quindi</i>
<i>Conclusione</i>	Non <i>A</i> .	

La prima premessa di MTT è costituita da un condizionale con antecedente *A* e conseguente *B*; il conseguente del condizionale viene negato nella seconda premessa (Non *B*); infine, nella conclusione (Non *A*) si nega l'antecedente. Ciò significa che, negando (*tollendo*) il conseguente nelle premesse, concluderemo negando (*tollens*) l'antecedente. Un esempio di MTT è il seguente:

Premessa 1 Se Marco è emozionato, allora Marco balbetta.
Premessa 2 Marco non balbetta.

_____ *Quindi*

Conclusione Marco non è emozionato.

INFERENZE INDUTTIVE. Le **inferenze induttive** *non* presentano i tratti distintivi, sopra illustrati, delle inferenze deduttive. Sono invece caratterizzate da due aspetti fondamentali:

- (1) sono **inferenze ampliative**, nel senso che la conclusione dice *qualcosa di nuovo* rispetto alle premesse;
- (2) è quindi possibile che le premesse siano vere e la conclusione falsa; ciò significa che le premesse non possono conferire alla conclusione una totale certezza, ma solo un certo grado, più o meno elevato, di probabilità. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, le inferenze induttive vengono talvolta chiamate **inferenze probabili**.

I tratti distintivi delle inferenze induttive emergono con chiarezza nella cosiddetta **induzione universale**, o **induzione per enumerazione**, presa in esame già da Aristotele, che consiste nel raggiungere conclusioni di carattere universale sulla base di un certo numero di casi particolari. Un esempio di induzione per enumerazione è il seguente:

Premessa 1 Il primo corvo osservato è nero.
Premessa 2 Il secondo corvo osservato è nero.

[...]

Premessa 1000 Il millesimo corvo osservato è nero.

===== *Quindi, probabilmente*

Conclusione Tutti i corvi sono neri.

La doppia linea orizzontale sotto le premesse sta a indicare che la conclusione viene inferita induttivamente dalle premesse.

3.3. La giustificazione induttiva delle ipotesi

CONFERMA E PROBABILITÀ DELLE IPOTESI. Possiamo ora tornare al confronto fra la logica induttiva e la logica della giustificazione (cap. 3.1). In seguito alle critiche di

Popper e di altri studiosi, all'inizio degli anni Trenta i neoempiristi abbandonarono il criterio di verificabilità, che identifica gli enunciati significanti con quelli verificabili, e lo sostituirono con un criterio meno restrittivo, noto come **criterio di confermabilità**. In base a tale criterio non è necessario che gli enunciati scientifici siano conclusivamente verificabili, ma è sufficiente che siano *empiricamente confermabili*; occorre cioè che possano essere sottoposti a controlli osservativi ed eventualmente confermati dal risultato di tali controlli. L'esigenza di offrire una formulazione quanto possibile precisa del criterio di confermabilità stimolò la ricerca, che continua anche ai nostri giorni, di una buona esplicazione, o ricostruzione razionale (si veda cap. 1), del concetto di **conferma**.

Dicendo che l'evidenza empirica E conferma l'ipotesi H , di solito intendiamo dire che E rafforza la nostra fiducia nella verità di H . Secondo gli induttivisti le procedure utilizzate per valutare la conferma delle ipotesi hanno carattere induttivo (**Lettura 2**). Ciò significa che quando valutiamo se, e in che misura, E conferma H , stiamo più o meno consapevolmente operando un'inferenza induttiva: l'enunciato E , che descrive i dati empirici in nostro possesso, costituisce la premessa dell'inferenza, mentre l'ipotesi H ne rappresenta la conclusione, che può venire inferita induttivamente da E con un grado più o meno alto di probabilità. In particolare, se la probabilità di H alla luce di E è molto alta, possiamo dire che H è *ben confermata* da E .

IL METODO IPOTETICO-DEDUTTIVO DI CONFERMA. Gli induttivisti ritengono che alcune fra le procedure più ampiamente utilizzate nella valutazione delle ipotesi, a partire dal **metodo ipotetico-deduttivo** (o ID), possano venire intese come procedure induttive. ID si basa sull'idea che possiamo confermare un'ipotesi deducendone alcune previsioni osservative e accertando poi che tali previsioni si sono realizzate. In altre parole, se un'ipotesi H consente di dedurre la previsione E , e i successivi controlli mostrano l'avverarsi di E , possiamo concludere che E conferma H . Secondo gli induttivisti, la conferma ipotetico-deduttiva di H , derivante dall'accertamento di una previsione E dedotta da H , può venire interpretata come un'inferenza induttiva attraverso la quale, a partire dalla premessa E , possiamo inferire che la probabilità di H si è accresciuta e, in alcuni casi, che tale probabilità è diventata molto alta.

Molti episodi della storia della scienza possono essere interpretati come applicazioni più o meno consapevoli di ID. Uno di questi riguarda la conferma della meccanica di Isaac Newton (1642-1727), esposta nei *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principi matematici della filosofia naturale*, 1687). Nel 1695 l'astronomo inglese Edmond Halley (1656-1742) applicò l'ipotesi di Newton a una cometa da lui osservata nel 1682 e ne dedusse la previsione che la cometa avrebbe impiegato circa 75 anni per compiere un'orbita completa: sarebbe quindi riapparsa nel dicembre del 1758. Halley morì nel 1743, quindici anni prima del ritorno della cometa, che riapparve il giorno di Natale del 1758 e venne quindi battezzata "cometa di Halley". In accordo con ID, il successo della previsione di Halley venne interpretato dalla comunità scientifica come una straordinaria conferma della meccanica newtoniana.

TEORIA DELLE PROBABILITÀ. Nella comunicazione scientifica, e spesso anche nel linguaggio quotidiano, si dice che un'ipotesi H è probabile quando si hanno buoni

motivi per credere che H sia vera, pur senza esserne certi. È piuttosto frequente anche l'uso di frasi che precisano il *grado di probabilità* di H , come “ H è molto probabile” o “ H è estremamente probabile”. Talvolta si assegna un valore numerico alla probabilità di H dicendo, per esempio: “ H è probabile al 99%”. L'idea che si possano attribuire precisi valori quantitativi alle probabilità costituisce il nocciolo della **teoria (matematica) delle probabilità**, sviluppata a partire dalla metà del Seicento, a opera di alcuni grandi matematici, tra i quali Pierre de Fermat (1601-1665) e Blaise Pascal (1623-1662).

APPROCCIO BAYESIANO ALLE INFERENZE INDUTTIVE. Molti induttivisti ritengono che le inferenze induttive effettuate nell'indagine scientifica richiedano l'applicazione della teoria della probabilità, che consentirebbe di calcolare con precisione la probabilità da attribuire a un'ipotesi sulla base dell'evidenza empirica. Ai nostri giorni questo orientamento viene abbracciato dai sostenitori dell'**approccio bayesiano**, così denominato in onore del reverendo Thomas Bayes (1702-1761) che ne anticipò alcune idee chiave in uno scritto pubblicato postumo nel 1763. I bayesiani ritengono che l'intensità della nostra credenza nella verità di un'ipotesi scientifica H possa essere rappresentata da una determinata probabilità, il cui valore è compreso tra zero e uno, dove uno corrisponde al caso in cui siamo certi che H è vera, e zero a quello in cui siamo certi che H è falsa. Così, per esempio, attribuire a H una probabilità pari a 0,99, cioè una probabilità del 99%, esprime una quasi totale certezza della verità di H .

Secondo i bayesiani, all'inizio delle sue indagini lo scienziato dovrebbe determinare la **probabilità iniziale** $p(H)$ di qualunque ipotesi H da lui presa in esame. Successivamente dovrebbe aggiornare tale probabilità alla luce dell'evidenza sperimentale E acquisita nel corso dell'indagine, così da ottenere la **probabilità finale** $p(H|E)$, che si legge “probabilità di H data E ”. La probabilità $p(H|E)$ può venire calcolata applicando un teorema della teoria delle probabilità noto come **teorema di Bayes**. I bayesiani ritengono che le inferenze induttive compiute nell'indagine scientifica consistano essenzialmente nella determinazione delle probabilità finali delle ipotesi sulla base dell'evidenza empirica. Con riferimento al loro impiego nelle inferenze induttive, le probabilità utilizzate per esprimere i gradi di credenza nelle ipotesi vengono talvolta denominate **probabilità induttive**; poiché esprimono i gradi di credenza di un particolare scienziato, individuo o soggetto, sono spesso indicate anche con il termine “**probabilità soggettive**”.

3.4. Il falsificazionismo di Karl Raimund Popper

L'ANTIINDUTTIVISMO DI POPPER. Quasi tutti i filosofi della scienza, induttivisti inclusi, ammettono che non possiamo verificare in modo conclusivo le ipotesi scientifiche. Come si è già detto, tale impossibilità dipende dalla circostanza che le ipotesi di forma universale parlano di un numero potenzialmente infinito di oggetti mentre qualunque evidenza empirica ne comprende solo un numero finito. Gli induttivisti, tuttavia,

ritengono che in certi casi i dati empirici in nostro possesso permettano di attribuire, sulla base di appropriate inferenze induttive, una probabilità positiva alle ipotesi scientifiche, comprese quelle di forma universale. Questo punto di vista viene respinto da Popper, il quale è convinto che il carattere finito di ogni evidenza empirica impedisca di attribuire una sia pur minima probabilità alle ipotesi universali; ciò significa, per esempio, che la probabilità che tutti i corvi siano neri è destinata a restare uguale a zero, anche in seguito all'osservazione di milioni di corvi neri.

LA FALSIFICAZIONE DELLE IPOTESI. In alternativa all'induttivismo, Popper sviluppa una logica della giustificazione di carattere puramente deduttivo, nota con il nome di **falsificazionismo**, o **metodo delle congetture e confutazioni**.

Seguendo questo metodo, gli scienziati non dovrebbero affatto sforzarsi di confermare le ipotesi trovando evidenze sperimentali che ne accrescano la probabilità; dovrebbero invece tentare di dimostrare la falsità delle loro migliori congetture, di trovare cioè delle prove sperimentali in grado di confutarle. Infatti, solo resistendo a ingegnosi tentativi di confutazione le ipotesi scientifiche possono mostrare il loro valore.

Il falsificazionismo si basa sull'applicazione sistematica del *modus tollendo tollens* (MTT), che può venire utilizzato per confutare qualunque congettura proposta nella scienza, cioè per falsificare qualunque ipotesi scientifica. L'applicazione di MTT nella falsificazione delle ipotesi può essere illustrata così. Supponiamo che un'ipotesi *H* consenta di dedurre la previsione *E*: potremo allora asserire il condizionale "Se *H* allora *E*". Supponiamo inoltre che i successivi controlli mostrino che la previsione *E* non si verifica: potremo allora asserire "Non *E*". Gli enunciati "Se *H* allora *E*" e "Non *E*" possono essere utilizzati come premesse del seguente MTT, la cui conclusione è costituita dall'enunciato "Non *H*", che asserisce la falsità di *H*:

<i>Premessa 1</i>	Se <i>H</i> allora <i>E</i> .	
<i>Premessa 2</i>	Non <i>E</i> .	
	_____	<i>Quindi</i>
Conclusione	Non <i>H</i> .	

La **falsificazione delle ipotesi**, attuata attraverso la procedura deduttiva di MTT, svolge un ruolo fondamentale nel metodo delle congetture e confutazioni. Secondo Popper, infatti, gli scienziati dovrebbero sforzarsi di formulare *audaci* ipotesi, o congetture, sul mondo e cercare poi di confutarle, cioè di falsificarle, attraverso *severi* controlli sperimentali. Se il risultato dei controlli porta alla falsificazione di un'ipotesi, questa deve essere eliminata; se invece l'ipotesi resiste ai tentativi di confutazione superando tutti i controlli, allora può venire considerata, per usare un termine caro a Popper, come "ben *corroborata*", cioè come un'ipotesi almeno *provvisoriamente accettabile* nel corpo delle nostre conoscenze. Come si può notare, il precetto metodologico suggerito da Popper viene formulato utilizzando, oltre alla nozione di falsificazione, quelle di audacia, severità e corroborazione.

AUDACIA DELLE IPOTESI. L'ipotesi che tutti i corvi sono neri esclude l'esistenza di corvi azzurri, rosa e di altri colori. In generale, ogni ipotesi scientifica esclude un gran numero di eventi, vale a dire tutti gli eventi che, se si realizzassero, falsificherebbero l'ipotesi. Quanto più numerosi sono i tipi di eventi proibiti da un'ipotesi, tanto maggiore è la sua **audacia**, o **grado di falsificabilità**, cioè il rischio che corre di essere falsificata. Escludendo molti tipi di eventi, un'ipotesi audace dice molte cose sul mondo; è quindi un'*ipotesi interessante e ricca di contenuto informativo*. Per questo gli scienziati dovrebbero preferire ipotesi audaci, cioè ipotesi che, se superassero i controlli, accrescerebbero in maniera rilevante la nostra conoscenza del mondo.

SEVERITÀ DEI CONTROLLI SPERIMENTALI. Popper richiede anche che i controlli sperimentali ai quali deve venire sottoposta una nuova ipotesi siano severi. Ciò significa che non dobbiamo controllare *qualsiasi* previsione derivabile dall'ipotesi, ma solo le *previsioni rischiose*, cioè le previsioni di eventi che non ci attenderemo di osservare se l'ipotesi fosse falsa. Per esempio, la previsione, poi verificata, che la cometa di Halley sarebbe riapparsa sulla volta celeste in un determinato arco di tempo rappresentò un **severo controllo** della teoria newtoniana.

ESPERIMENTI CRUCIALI. Per sottoporre a un severo controllo una "nuova" teoria T_1 dobbiamo derivare da T_1 la previsione E di un evento che non ci aspetteremo *senza* T_1 . Ogni aspettativa, secondo Popper, è il risultato dell'adozione, più o meno consapevole, di qualche teoria: affermare che senza T_1 non ci attenderemo il verificarsi di E significa quindi affermare che, *sulla base di altre teorie*, per esempio di una teoria T_2 più "vecchia" di T_1 , ci attenderemo che E non si verifichi. Il controllo sperimentale di E può condurci a due risultati: E non si è verificato, cosicché T_1 viene falsificata, oppure E si è verificato, cosicché T_2 viene falsificata. Sottoporre a un severo controllo una teoria T_1 equivale quindi a compiere un **esperimento cruciale**, cioè un controllo sperimentale che ci permetterà di operare una netta discriminazione tra T_1 e una teoria rivale T_2 , rifiutando quella falsificata dal risultato del controllo.

CORROBORAZIONE DELLE IPOTESI. Il fatto che un'ipotesi abbia superato controlli severi non ci permette affatto di affermare che è certamente vera, e neppure probabilmente vera, ma solo di affermare che è corroborata: un *alto grado di corroborazione* fornisce semplicemente un'indicazione del fatto che l'ipotesi ha resistito a numerosi e rigorosi tentativi di confutazione. Senza abbandonare la distinzione tra corroborazione e probabilità, a partire da *Conjectures and Refutations (Congetture e confutazioni, 1963)*, Popper cercherà di mostrare che la preferenza per le ipotesi ben corroborate può essere giustificata dall'obiettivo fondamentale della scienza: la verità.

RICERCA DELLA VERITÀ E VEROSIMILITUDINE. Al pari degli induttivisti, anche Popper crede infatti che la scienza sia ricerca della verità, cioè di teorie vere. Tuttavia, ciò non significa che riusciremo a trovare tali teorie o, se per caso le trovassimo, a stabilire con certezza che sono vere. La verità va quindi considerata come un ideale regolativo, al quale possiamo progressivamente avvicinarci, sostituendo le nostre vecchie teorie con altre che corrispondono meglio ai fatti. Popper è infatti convinto che l'idea di una migliore corrispondenza ai fatti, cioè di una migliore **approssimazione**

alla verità, sia perfettamente sensata. Per esprimere questa idea usa il termine “**verosimilitudine**”:¹ una teoria è più verosimile di un’altra teoria quando è più vicina alla verità. La ricerca della verità può quindi venire intesa come la ricerca di un alto grado di verosimilitudine.

LA CORROBORAZIONE COME STIMA DELLA VEROSIMILITUDINE. Poiché non possiamo conoscere con esattezza la verità, non possiamo neppure determinare con certezza la vicinanza di un’ipotesi alla verità. Popper ritiene però che possiamo compiere una stima, pur sempre fallibile, della verosimilitudine di un’ipotesi a partire dal modo in cui ha superato i severi controlli ai quali l’abbiamo sottoposta, a partire cioè dal suo grado di corroborazione. Nell’ultimo trentennio della sua lunga e operosa esistenza, Popper si è sforzato di mostrare che la corroborazione di un’ipotesi fornisce un’indicazione piuttosto attendibile della sua verosimilitudine. Secondo lui, mentre non possiamo mai avere argomenti sufficientemente buoni per pretendere che una teoria sia vera, possiamo avere buoni argomenti per affermare che ci siamo avvicinati alla verità, cioè che la nostra teoria è *un’ approssimazione alla verità migliore* di qualsiasi teoria rivale finora proposta. Ciò significa che il metodo scientifico può essere inteso come il procedimento razionale per avvicinarsi alla verità.

¹ Il termine inglese “*verisimilitude*” ha due accezioni diverse: nella prima significa “probabilità”, mentre nella seconda, che corrisponde all’uso popperiano, significa “somiglianza alla verità”. Di solito “*verisimilitude*” viene tradotto con “verosimiglianza”, che riproduce la stessa ambiguità semantica del termine inglese; sfortunatamente, però, nei testi di epistemologia e di statistica, “verosimiglianza” viene comunemente usato per tradurre il termine inglese “*likelihood*”, che indica un particolare tipo di probabilità delle ipotesi. Sarebbe quindi fonte di grande confusione usare “verosimiglianza” anche per tradurre il termine popperiano “*verisimilitude*”; abbiamo quindi preferito, in accordo con gran parte della letteratura sull’argomento, adottare il termine tecnico “verosimilitudine”, che non ricorre nell’italiano corrente: ci piace però ricordare che questo termine, nella sua variante “verisimilitudine”, viene impiegato da Giacomo Leopardi (*Dialogo di Cristoforo Colombo e di Pietro Gutierrez, nelle Operette morali*, 1827).

La spiegazione scientifica

4.1. Causalità e leggi nella spiegazione scientifica

DESCRIVERE IL MONDO E SPIEGARE I FATTI. I filosofi della scienza hanno proposto, come si è appena visto, svariati criteri per la valutazione e l'accettazione delle ipotesi scientifiche. Le ipotesi accettate nel corpo della scienza vengono spesso denominate **leggi scientifiche** o, nel caso delle scienze naturali, **leggi di natura**. Secondo un'opinione molto diffusa, l'accettazione di ipotesi in grado di *descrivere* gli aspetti fondamentali del mondo esterno non è l'unico obiettivo della scienza. Infatti le ipotesi accettate nella scienza, cioè le leggi scientifiche, dovrebbero anche consentirci di *spiegare* i fatti o eventi che, per qualche motivo, suscitano il nostro interesse. Il rapporto tra eventi osservabili e leggi scientifiche avrebbe, quindi, un carattere bidirezionale: accettiamo le leggi scientifiche sulla base degli eventi osservabili e spieghiamo gli eventi osservabili sulla base delle leggi scientifiche precedentemente accettate.

SPIEGAZIONI CAUSALI. Supponiamo di voler spiegare perché la finestra dello studio è rotta. Una spiegazione dell'evento potrebbe essere la seguente:

(a) La finestra dello studio è rotta perché è stata colpita da una grossa pietra.

(a) è una **spiegazione causale** poiché considera l'evento da spiegare come l'effetto di un altro evento che ne sarebbe la causa. Tuttavia molti filosofi della scienza hanno sostenuto, sulla scia di Hume, che la *causalità* è costituita semplicemente da *regolarità fenomeniche*. Nel caso qui considerato, ciò significa che possiamo esprimere il rapporto causale tra il lancio della pietra e la rottura della finestra mediante leggi che descrivono determinate regolarità nel comportamento del vetro. Potremmo, per esempio, fare appello alla legge "Tutte le finestre colpite da grosse pietre si rompono" e riformulare (a) nei seguenti termini:

(b) *Premessa 1* Tutte le finestre colpite da grosse pietre si rompono.

Premessa 2 La finestra dello studio è stata colpita da una grossa pietra.

Quindi

Conclusione La finestra dello studio è rotta.

Si noti che (b) ha la forma di un argomento deduttivo, più precisamente di un sillogismo, dove l'enunciato che descrive l'evento da spiegare, cioè "La finestra dello

studio è rotta”, viene dedotto da due premesse, vale a dire dalla legge scientifica “Tutte le finestre colpite da grosse pietre si rompono” e dall’enunciato “La finestra dello studio è stata colpita da una grossa pietra”. Quest’ultimo descrive le cosiddette **condizioni iniziali**, cioè gli eventi osservabili che hanno preceduto quello che deve essere spiegato; tali condizioni potrebbero senso venire identificate con “*la causa*” dell’evento.

SPIEGAZIONI NOMICHE. I filosofi della scienza si riferiscono a tutto ciò che deve essere spiegato con il termine **explanandum**, mentre tutto ciò che opera la spiegazione viene chiamato **explanans**. Inoltre, una spiegazione nella quale l’*explanans* contiene una o più leggi, come nel caso di (b), viene chiamata **spiegazione nomica** (dal termine greco *nomos*, che significa “legge”).

Offrire una spiegazione nomica di un determinato evento equivale a mostrare che, date le leggi di natura e le condizioni iniziali, l’evento doveva accadere. Molte spiegazioni scientifiche hanno la forma di spiegazioni nomiche, o possono essere riformulate in questo modo. Si consideri, per esempio, la seguente spiegazione:

- (c) La pressione del gas nel contenitore si è alzata perché si è mantenuto costante il volume e si è aumentata la temperatura.

È evidente che (c) è una spiegazione nomica che potremmo riformulare come un sillogismo del tutto simile a (b). Ciò significa che l’*explanandum* “La pressione del gas nel contenitore si è alzata” può essere dedotto da un *explanans* comprendente sia la legge dei gas, che collega temperatura, pressione e volume, sia l’enunciato “Il volume è stato mantenuto costante e la temperatura è stata aumentata”, che descrive le condizioni iniziali.

4.2. Il modello nomologico di spiegazione di Carl Gustav Hempel

Dobbiamo a Carl Gustav Hempel la prima analisi sistematica della spiegazione scientifica. Il modello nomologico di spiegazione, sviluppato da Hempel nel corso di un ventennio di ricerche culminate nel volume *Aspects of Scientific Explanation* (*Aspetti della spiegazione scientifica*, 1965), si basa sull’idea che le spiegazioni scientifiche siano spiegazioni nomiche (**Lettura 3**).

LA SPIEGAZIONE NOMOLOGICO-DEDUTTIVA. Secondo Hempel il tipo fondamentale di spiegazione nomica è costituito dalla **spiegazione nomologico-deduttiva**, o **spiegazione ND**, nella quale l’*explanandum* viene *dedotto* da una o più leggi di natura unite a uno o più enunciati sulle condizioni iniziali. Una spiegazione ND avrà questa forma:

Leggi	L_1, L_2, \dots, L_r
Condizioni iniziali	C_1, C_2, \dots, C_k
	_____ Quindi
Explanandum	E

L'*explanandum* E viene qui dedotto da un *explanans* costituito dalle una o più leggi L_1, L_2, \dots, L_r e una o più condizioni iniziali C_1, C_2, \dots, C_k .

PROBABILITÀ STATISTICHE E LEGGI STATISTICHE. Nell'*explanans* delle spiegazioni ND vengono utilizzate leggi di forma universale, del tipo "Tutti gli A sono B ". D'altra parte è noto che non tutte le leggi scientifiche hanno questa forma. Infatti molte scienze fanno largo uso delle cosiddette **leggi statistiche**. Una legge statistica che descrive le relazioni fra due proprietà A e B può essere espressa dicendo, per esempio, che "Il 90% degli A sono B " oppure che "La probabilità che un A sia B è pari al 90%".

La nozione di probabilità utilizzata nella formulazione di leggi statistiche viene spesso chiamata **probabilità statistica**. Tale nozione non va confusa con quella di probabilità induttiva, che abbiamo illustrato con riferimento alle inferenze induttive. Infatti, mentre le probabilità induttive rappresentano i gradi di credenza di un particolare individuo nella verità delle ipotesi da lui prese in esame, le probabilità statistiche si riferiscono a determinate caratteristiche oggettive del mondo esterno. Per esempio, la probabilità statistica del 90%, menzionata nella legge "La probabilità che un A sia B è pari al 90%", indica la **percentuale**, o **frequenza relativa**, degli individui di tipo A che hanno la proprietà B . Anche se probabilità induttiva e probabilità statistica sono nozioni molto diverse, applichiamo a entrambe il termine "probabilità" poiché entrambe soddisfano i principi della teoria matematica delle probabilità.

LA SPIEGAZIONE STATISTICO-INDUTTIVA. Secondo Hempel nella spiegazione dei fenomeni possiamo ricorrere anche a leggi statistiche. Sulla base di tali leggi possiamo formulare **spiegazioni probabilistiche**, dette anche **spiegazioni statistico-induttive**, o **spiegazioni SI**. L'*explanandum* di una spiegazione SI viene *inferito induttivamente* da una o più leggi statistiche assieme alle condizioni iniziali. Un esempio di spiegazione SI è il seguente:

<i>Legge statistica</i>	Il 90% delle infezioni batteriche curate con antibiotici guariscono in meno di un mese.
<i>Condizione iniziale</i>	L'infezione batterica di Giovanni è stata curata con antibiotici.

Quindi, con una
probabilità pari
al 90%

<i>Explanandum</i>	L'infezione batterica di Giovanni è guarita in meno di un mese.
--------------------	---

L'*explanandum* "L'infezione batterica di Giovanni è guarita in meno di un mese" viene qui spiegato sulla base di un *explanans* costituito dalla legge statistica "Il 90% delle infezioni batteriche curate con antibiotici guariscono in meno di un mese" e dalla condizione iniziale "L'infezione batterica di Giovanni è stata curata con antibiotici". Il doppio tratto sotto le premesse sta a indicare che l'*explanandum* viene inferito induttivamente dall'*explanans* con una elevata probabilità induttiva, pari al 90%. Si noti che la probabilità induttiva assegnata all'*explanandum*, indicata a destra del doppio tratto orizzontale, è identica alla probabilità statistica che ricorre nella legge utilizzata nell'*explanans*. Supponiamo, infatti, di sapere solo quanto detto dall'*explanans*, cioè che il 90% delle infezioni batteriche curate con antibiotici guariscono in meno di un mese (legge statistica) e che l'infezione batterica di Giovanni è stata curata con antibiotici (condizione iniziale): sarà allora del tutto plausibile attribuire una probabilità induttiva del 90% alla possibilità che l'infezione batterica di Giovanni guarisca in meno di un mese (*explanandum*).

Secondo Hempel una spiegazione SI è adeguata solo se l'*explanans* può essere inferito dall'*explanandum* con una probabilità molto elevata, e comunque superiore al 50%. Questo **requisito dell'elevata probabilità** rende le spiegazioni SI sostanzialmente simili alle spiegazioni ND. In entrambi i casi, infatti, se avessimo conosciuto le condizioni iniziali *prima* del verificarsi dell'evento da spiegare, avremmo potuto *prevedere*, in base alle leggi di natura accettate, che tale evento si sarebbe verificato: nelle spiegazioni ND avremmo potuto prevederlo con certezza deduttiva, nel caso delle spiegazioni SI solo con elevata probabilità.

4.3. Un'alternativa al modello hempeliano della spiegazione

CRITICHE AL MODELLO HEMPELIANO. Il modello hempeliano della spiegazione è stato sottoposto a diverse obiezioni, molte delle quali riguardano le spiegazioni SI. I critici rilevano che noi siamo molto spesso interessati alla spiegazione di eventi che si verificano piuttosto raramente, cioè di eventi scarsamente probabili; di conseguenza,

un grave difetto delle spiegazioni SI consiste nel fatto che il requisito dell'elevata probabilità impedisce la spiegazione di eventi di questo genere.

Si pensi, per esempio, all'insorgenza del cancro polmonare nei fumatori. Poiché questa malattia si presenta anche nei fumatori con una frequenza relativa piuttosto bassa, e comunque di gran lunga inferiore al 50%, possiamo supporre, a puro scopo illustrativo, di accettare la legge statistica S_1 che dice: "Il 5% dei fumatori contraggono il cancro polmonare". Immaginiamo ora che Giovanni sia un fumatore e abbia contratto il cancro polmonare. Sulla base di S_1 e della condizione iniziale rappresentata dal fatto che Giovanni è un fumatore, dovremmo attribuire all'*explanans*, cioè al fatto che Giovanni ha contratto il cancro, una probabilità del 5%. A dispetto del requisito Hempeliano dell'elevata probabilità, che ci vieta di utilizzare S_1 per formulare una spiegazione SI del fatto che Giovanni abbia contratto il cancro, molti medici affermerebbero che il cancro di Giovanni è stato causato dal fumo, cioè che il fumo spiega il fatto che Giovanni abbia contratto il cancro.

IL MODELLO DI RILEVANZA STATISTICA. Alla fine degli anni Sessanta, il filosofo della scienza americano Wesley Salmon (1925-2001) ha proposto una nozione di spiegazione statistica, nota come **modello di rilevanza statistica**, in grado di rendere conto delle intuizioni espresse dai medici in casi di questo genere.

Trascurando i particolari, si può dire che una **spiegazione statisticamente rilevante**, o **spiegazione SR**, del cancro di Giovanni non dovrebbe basarsi solo sulla legge S_1 , che stabilisce la frequenza relativa del cancro polmonare nei fumatori, ma anche su una legge statistica che indichi la frequenza relativa del cancro polmonare nei non fumatori. Supponiamo, sempre a scopo illustrativo, di accettare la legge statistica S_2 secondo la quale l'1% dei non fumatori contraggono il cancro polmonare. Possiamo ora affermare che il fatto che Giovanni sia un fumatore, insieme con le leggi statistiche S_1 e S_2 , spiega il cancro polmonare di Giovanni. Infatti, secondo S_1 e S_2 la probabilità statistica di contrarre il cancro è cinque volte maggiore nei fumatori rispetto ai non fumatori: ciò significa che il fumo è *statisticamente rilevante* per il cancro polmonare. Possiamo allora dire che la circostanza che Giovanni sia un fumatore è una buona spiegazione SR del fatto che abbia contratto il cancro, nel senso che il fumo ha notevolmente accresciuto la probabilità che tale evento si verificasse.

5.1. La struttura delle teorie scientifiche

IPOTESI OSSERVATIVE, IPOTESI TEORICHE E PRINCIPI PONTE. Nell'analisi del metodo e dei fini della scienza è importante distinguere tre tipi di ipotesi, o leggi, vale a dire le **leggi osservative**, le **leggi teoriche** e i cosiddetti **principi ponte**. Le leggi osservative comprendono *solo termini osservativi*, cioè termini che si riferiscono a entità o proprietà osservabili, come "corvo" e "nero"; le leggi teoriche comprendono *solo termini teorici*, cioè termini che si riferiscono a entità o proprietà inosservabili, come "elettrone" e "lunghezza d'onda"; infine, i principi ponte sono così chiamati perché vengono formulati usando *sia termini teorici sia termini osservativi* e consentono quindi, come vedremo tra breve, di collegare le leggi teoriche con quelle osservative.

SISTEMI TEORICI. Abbiamo finora parlato di ipotesi, leggi e teorie con riferimento a singoli enunciati. Tuttavia nella pratica scientifica il termine "teoria" viene spesso usato per indicare **sistemi teorici**, come la meccanica newtoniana o la genetica mendeliana, costituiti da *insiemi di ipotesi*. I sistemi teorici formulati in molte scienze, a partire dalla fisica, comprendono leggi osservative, leggi teoriche e principi ponte.

SPIEGAZIONE TEORICA. Le leggi osservative descrivono le regolarità fenomeniche osservabili nel mondo esterno. Spesso gli scienziati cercano di spiegare tali regolarità riconducendole a uniformità più profonde, relative a entità o processi invisibili che si trovano, per così dire, sotto i fenomeni; in altre parole, gli scienziati cercano di offrire una **spiegazione teorica** delle regolarità fenomeniche, deducendo le leggi osservative a partire da appropriate leggi teoriche e principi ponte.

Possiamo illustrare la nozione di spiegazione teorica con un esempio relativo alla teoria cinetica dei gas, la quale può essere intesa come un sistema teorico che comprende leggi osservative, leggi teoriche e principi ponte. Le leggi osservative descrivono certe caratteristiche *macroscopiche* dei gas, come la temperatura o la pressione, che possono essere osservate e misurate. Una famosa legge osservativa è la legge di Boyle, formulata dallo scienziato irlandese Robert Boyle (1627-1691), la quale afferma che la pressione di una massa di gas a temperatura costante è inversamente proporzionale al suo volume. Le leggi teoriche descrivono certe caratteristiche *microscopiche* dei gas, come la massa, la quantità di moto e l'energia cinetica delle molecole di una massa di gas. Infine, i principi ponte della teoria cinetica collegano le caratteristiche microscopiche dei gas con quelle macroscopiche; principi ponte sono ad esempio l'ipotesi che la pressione esercitata da un gas in un recipiente dipenda dalla quantità di moto che le molecole del gas trasmettono alle pareti, e l'ipotesi che l'energia cinetica media delle molecole di una massa di gas rimanga

costante finché rimane costante la temperatura. A partire dalle leggi teoriche e dai principi ponte della teoria cinetica dei gas, i fisici sono in grado di dedurre la legge di Boyle e diverse altre leggi osservative; in altre parole, sono in grado di offrire una spiegazione teorica di svariate regolarità fenomeniche nel comportamento dei gas, riconducendole alle regolarità dei sottostanti fenomeni molecolari.

5.2. La tesi e il problema di Duhem

LA TESI DI DUHEM. Il fatto che gli scienziati abbiano spesso a che fare con sistemi teorici è ricco di implicazioni per il metodo scientifico. Una di queste fu colta da Duhem all'inizio del secolo scorso, nel volume *La théorie physique (La teoria fisica, 1906)*. La sua tesi, oggi nota come **tesi di Duhem**, afferma che non possiamo mai sottoporre a controllo sperimentale un'ipotesi teorica isolata, ma soltanto un *insieme* di ipotesi, cioè un sistema teorico. Quando i risultati dei controlli sperimentali non sono in accordo con le previsioni derivate dal sistema, ci dicono soltanto che almeno una delle ipotesi del sistema è inaccettabile, senza dirci esattamente quale. La tesi di Duhem, formulata con specifico riferimento alla fisica, è stata poi estesa a tutte le scienze "mature", cioè alle scienze più sviluppate, nelle quali le ipotesi vengono raggruppate in sistemi teorici altamente strutturati.

La tesi di Duhem viene suffragata da molti casi tratti dalla storia della scienza. Supponiamo, per esempio, di voler controllare la legge di gravitazione H_1 , deducendone una previsione osservabile E circa la posizione che il pianeta Urano occuperà in un determinato istante t . E' noto che H_1 , presa da sola, non implica alcuna previsione osservabile, e quindi neppure E . La previsione E può essere invece dedotta a partire da un insieme di premesse che comprende l'intera meccanica newtoniana, cioè la legge di gravitazione H_1 e le tre leggi del moto, che chiameremo H_2 , H_3 e H_4 e, in aggiunta, svariate **ipotesi ausiliari**. Alcune ipotesi ausiliari utilizzate nella derivazione di E descrivono le attuali posizioni, velocità e masse di Urano e del Sole. Altre sono ipotesi di carattere generale: per esempio, l'ipotesi che l'unica forza che agisce sui pianeti è quella gravitazionale, o quella che i telescopi utilizzati per rilevare le posizioni dei pianeti non producono grossolane distorsioni. Se indichiamo con A la congiunzione di tutte le ipotesi ausiliari utilizzate nella deduzione di E , possiamo affermare che E è stata dedotta dalla congiunzione (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A), cioè dalla congiunzione delle quattro leggi della meccanica newtoniana e di un certo numero di ipotesi ausiliari. Ciò significa che possiamo controllare la legge di gravitazione H_1 solo in maniera indiretta, cioè sottoponendo a controllo un intero sistema teorico comprensivo di H_1 , vale a dire (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A).

IL PROBLEMA DI DUHEM. La tesi di Duhem porta alla luce un problema spinoso, che si presenta nel caso in cui le previsioni osservative dedotte da un sistema teorico non si realizzino. Possiamo illustrare tale problema, oggi noto come **problema di Duhem**, con riferimento al controllo del sistema teorico (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A).

Poiché la previsione E è deducibile dalla congiunzione (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A), siamo in grado di affermare: “Se (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A) allora E ”. Supponiamo, inoltre, di avere osservato la posizione di Urano nell’istante t , e scoperto che la previsione E non si è realizzata; siamo allora in grado di affermare: “Non E ”. Possiamo ora usare gli enunciati “Se (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A) allora E ” e “Non E ” come premesse del seguente MTT:

<i>Premessa 1</i>	Se (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A) allora E .	
<i>Premessa 2</i>	Non E .	
	_____	<i>Quindi</i>
<i>Conclusione</i>	Non (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A).	

La conclusione “Non (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A)” del nostro MTT afferma che la congiunzione (H_1 e H_2 e H_3 e H_4 e A) è falsa, cioè che almeno una delle ipotesi H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , A è falsa. Tuttavia, tale conclusione non ci dice *quale* di queste ipotesi è falsa. Potrebbe essere falsa proprio la legge di gravitazione H_1 , oppure una delle leggi del moto H_2 , H_3 e H_4 o, ancora, una delle ipotesi ausiliari comprese in A . Si noti che la conclusione di MTT lascia aperta persino la possibilità che *tutte* le ipotesi H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , A siano false.

Quando il risultato delle osservazioni o degli esperimenti è in disaccordo con le previsioni dedotte da un sistema teorico, l’unica conclusione certa che ne possiamo trarre, applicando MTT nel modo appena illustrato, è che *qualche parte del sistema va eliminata*. Tuttavia, tale conclusione non ci dice quali parti del sistema teorico dovrebbero essere eliminate o modificate. Di fronte alla falsificazione sperimentale di un sistema teorico sarebbe utile disporre di un criterio soddisfacente per decidere su quale parte del sistema dovremmo far ricadere la “colpa” della falsificazione. Il problema di Duhem consiste proprio nella richiesta di formulare un criterio di questo genere.

5.3. Realismo e antirealismo

La distinzione tra ipotesi osservative e teoriche svolge una funzione importante anche nella riflessione sui *fini della scienza*. Negli ultimi decenni tale riflessione ha dato luogo a una vivace disputa tra varie forme di **realismo** e di **antirealismo**. Illustreremo anzitutto le tesi fondamentali del cosiddetto realismo scientifico e considereremo poi alcune recenti forme di antirealismo.

REALISMO SCIENTIFICO. Secondo un’idea largamente accettata, le leggi osservative stabilite in varie discipline scientifiche sono la migliore descrizione in nostro possesso di molte regolarità fenomeniche, relative a entità osservabili molto importanti per la nostra vita, dalle galline d’allevamento agli impianti nucleari. La scienza non si limita,

però, alla descrizione delle regolarità fenomeniche; infatti diverse discipline scientifiche comprendono anche leggi teoriche che offrono una descrizione particolareggiata del comportamento di svariate entità non osservabili, dagli atomi ai buchi neri. In termini molto approssimativi, possiamo definire il **realismo scientifico** come la tesi secondo la quale dovremmo credere non solo a quello che la scienza ci dice sulle regolarità fenomeniche, ma anche a quel che ci dice circa la realtà inosservabile; per esempio, dovremmo credere che gli oggetti non osservabili postulati dalle nostre migliori teorie scientifiche esistano davvero, e che le leggi teoriche che li descrivono siano vere o, almeno, approssimativamente vere.

Nella filosofia della scienza del Novecento sono state sviluppate diverse versioni di realismo scientifico, a opera di studiosi come Popper, lo statunitense Hilary Putnam (1926-vivente), il finlandese Ilkka Niiniluoto (1947-vivente) e molti altri. Pur differendo tra loro sotto molti importanti aspetti, le varie forme di realismo scientifico sono accomunate dal condividere tre tesi fondamentali, che vanno talvolta sotto i nomi di **realismo metafisico**, **semantico** ed **epistemico**. Illustreremo qui brevemente ognuna di queste tesi.

REALISMO METAFISICO. Secondo questa tesi esiste un “mondo esterno” diverso e indipendente dal “mondo interno” della nostra mente. Ciò significa, per esempio, che la pipa di radica sul tavolo del mio studio non è un prodotto della mia mente o di altre menti: esiste davvero e continuerebbe a esistere anche se all’improvviso tutti gli esseri umani sparissero dall’universo. I realisti scientifici ritengono che il mondo esterno comprenda non solo le pipe e gli altri oggetti osservabili, ma anche le entità teoriche, come gli elettroni o i geni, di cui parlano le nostre migliori teorie scientifiche. Secondo i realisti tali entità esistono davvero e la loro esistenza è indipendente dalla nostra conoscenza e dalle nostre menti.

REALISMO SEMANTICO. Il realismo semantico afferma che i termini che compaiono in un enunciato si riferiscono a cose e proprietà del mondo esterno. Ne segue che saranno le condizioni oggettive, cioè i fatti del mondo esterno, a determinare se un enunciato è vero o falso: un enunciato sarà vero se corrisponde ai fatti, falso se non vi corrisponde. I realisti scientifici applicano quest’ultima tesi, che va spesso sotto il nome di *teoria corrispondentistica della verità*, anche alle ipotesi teoriche formulate nella scienza. Secondo i realisti, infatti, il valore di verità di tali ipotesi dipende *solo* da come è fatto il mondo.

REALISMO EPISTEMICO. Secondo questa tesi *siamo in grado di conoscere*, sia pure in modo fallibile, la verità sul dominio di eventi, osservabili e no, di cui parla la scienza. Ciò significa che abbiamo buone ragioni per credere che la maggior parte delle entità teoriche postulate dalle nostre migliori ipotesi teoriche esistano davvero e anche che tali ipotesi siano vere o, almeno, approssimativamente vere.

COSTRUTTIVISMO SOCIALE. Le diverse forme di **antirealismo** sviluppate nell’ultimo secolo sono caratterizzate dal rifiuto di almeno una delle tre tesi realiste appena illustrate. Per esempio, alcuni antirealisti, come il sociologo della scienza francese Bruno Latour (1947-vivente) e gli inglesi Steve Woolgar (19??-vivente) e David Bloor (1950-vivente), rifiutano il realismo semantico, cioè la tesi che il valore di verità delle

ipotesi scientifiche sia determinato dai fatti del mondo esterno. In particolare, molto interesse è stato suscitato dal **costruttivismo sociale**, sviluppato da Latour e Woolgar nel volume *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts (Vita di laboratorio: la costruzione sociale dei fatti scientifici, 1979)*. Gli autori analizzano le pratiche quotidiane dei ricercatori in un laboratorio scientifico con lo stesso metodo con cui gli antropologi studiano le tribù primitive. In tal modo giungono alla conclusione che la “tribù” degli scienziati di laboratorio non studia la “natura”, ma solo i fenomeni osservati nelle condizioni artificiali da loro stessi prodotte. L’idea centrale del costruttivismo sociale consiste nella tesi che *i fatti scientifici sono artefatti creati dalle pratiche di laboratorio*. Secondo i costruttivisti le pratiche di laboratorio hanno carattere essenzialmente *linguistico* e *sociale*. Infatti, il risultato fondamentale degli esperimenti di laboratorio è costituito dalla produzione di vari tipi di “iscrizioni”, cioè di entità linguistiche come grafici, numeri e resoconti sperimentali; queste iscrizioni vengono poi confrontate e manipolate attraverso dibattiti, “negoziazioni” e scambi sociali di vario genere tra i membri del gruppo di ricerca, e tra quest’ultimo e il resto della comunità scientifica. Latour e Woolgar possono quindi asserire che **i fatti scientifici sono costruzioni sociali**. Ne segue che, diversamente da quanto credono i realisti, le teorie non possono essere confrontate con una realtà esterna preesistente alla pratica scientifica.

EMPIRISMO COSTRUTTIVO. Negli ultimi vent’anni ha avuto molto successo una forma di antirealismo sviluppata, sotto l’etichetta di **empirismo costruttivo**, dal filosofo statunitense di origine olandese Bas van Fraassen (1941-vivente). Le sue posizioni sono state espone per la prima volta in forma sistematica nel volume *Scientific Image (L’immagine scientifica, 1984)*. Diversamente dai costruttivisti sociali, van Fraassen accetta il realismo semantico; ritiene quindi che le teorie scientifiche abbiano un valore di verità che dipende solo dalle condizioni del mondo esterno. Tuttavia, rifiuta il realismo epistemico e sostiene che, per accettare una teoria scientifica, non è affatto necessario credere che la teoria sia vera.

La nozione chiave dell’empirismo costruttivo è quella di **adeguatezza empirica**: una teoria è empiricamente adeguata quando, come dicevano i Greci, “*salva i fenomeni*”, cioè quando tutto quel che dice circa gli eventi osservabili è vero. Secondo gli empiristi costruttivi, per accettare una teoria è sufficiente credere che sia empiricamente adeguata, cioè che descriva correttamente ciò che è osservabile. Gli empiristi costruttivi illustrano la tesi che **l’indagine scientifica può avere pieno successo anche senza che si creda nella verità delle teorie** con riferimento a diversi casi tratti dalla storia della scienza. Consideriamo, per esempio, due scienziati: il primo accetta la teoria atomica nel senso che ritiene che sia empiricamente adeguata, ma resta agnostico sulla questione se gli atomi esistano davvero; il secondo, oltre a condividere la convinzione del primo circa l’adeguatezza empirica della teoria atomica, pensa anche che gli atomi esistano davvero. Gli empiristi costruttivi sostengono che la posizione realista del secondo scienziato non ha alcuna influenza sul suo lavoro scientifico: le sue attese e procedure saranno esattamente le stesse del collega agnostico. Entrambi, infatti, sono persuasi che la teoria atomica

sia in accordo con tutte le osservazioni fatte fino a quel momento e si aspettano che sarà in accordo anche con le osservazioni future; di conseguenza, entrambi penseranno nei termini della teoria atomica e useranno le sue risorse concettuali per risolvere tutti i problemi scientifici rilevanti. Ciò significa che un'interpretazione realista delle teorie non è affatto necessaria per la pratica scientifica: l'accettazione o il rifiuto dell'esistenza delle entità teoriche, come gli atomi, non svolge alcuna funzione nell'indagine scientifica.

Rivoluzioni e razionalità nello sviluppo della scienza

LE EPISTEMOLOGIE POSTPOSITIVISTE: UN APPROCCIO STORICO ALL'ANALISI DEL METODO SCIENTIFICO. Fino alla fine degli anni Cinquanta quasi tutti gli epistemologi pensavano che gli impetuosi cambiamenti concettuali e teorici che avevano caratterizzato lo sviluppo della scienza moderna non avessero però toccato "il metodo", identificato con l'insieme delle "giuste" procedure da applicare nella ricerca scientifica. Secondo questa opinione, a partire dagli inizi della scienza moderna i ricercatori avevano normalmente operato in accordo con le regole del metodo, anche se tali regole sarebbero state spesso applicate senza piena consapevolezza, come accade a tutti noi quando parliamo correttamente in italiano senza renderci esattamente conto di quali regole grammaticali stiamo applicando. Alla filosofia della scienza spettava quindi il compito di offrire una formulazione rigorosa e una convincente giustificazione razionale delle regole del metodo scientifico, cioè delle regole metodologiche spontaneamente adottate dagli scienziati.

Tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Settanta queste convinzioni vennero poste sotto attacco dalle epistemologie postpositiviste, che trovarono la loro più famosa espressione nella *Struttura delle rivoluzioni scientifiche* (1962) di Thomas Kuhn. Gli epistemologi postpositivisti sostenevano che, ben lungi dall'essere immutabile, il metodo scientifico cambiava nel corso del tempo, proprio come i concetti e le teorie scientifiche; di conseguenza, un'adeguata analisi del metodo non doveva basarsi solo, o principalmente, su considerazioni a priori di carattere logico, bensì su una conoscenza approfondita della storia della scienza. Oltre ad abbandonare l'idea che il metodo scientifico fosse unico e immutabile, i postpositivisti, con alcune eccezioni rappresentate da Imre Lakatos e Larry Laudan, abbandonarono anche l'idea, abbracciata dai positivisti dell'Ottocento e poi dai neopositivisti e da Popper, che i criteri e le procedure del metodo scientifico avessero *carattere normativo*, che vi fossero cioè "buone ragioni" in base alle quali gli scienziati *avrebbero dovuto* seguire quei criteri e quelle procedure. In contrasto con la *concezione normativa del metodo*, i postpositivisti adottarono una *concezione descrittiva*, secondo la quale il compito principale della filosofia della scienza era quello di identificare e descrivere i criteri e le procedure effettivamente usati nella pratica scientifica.

6.1. Scienza normale e rivoluzioni scientifiche: la teoria della scienza di Thomas Kuhn

SCIENZA NORMALE, PARADIGMI E COMUNITÀ SCIENTIFICHE. Secondo Kuhn, nello sviluppo di una disciplina scientifica sufficientemente matura, come la fisica, si

alternano ciclicamente diverse fasi, ciascuna delle quali è caratterizzata da peculiari schemi di comportamento della comunità scientifica. Le due fasi principali di questo sviluppo sono rappresentate, come vedremo ora, dalla “scienza normale” e dalla “scienza rivoluzionaria”.

Per la maggior parte del tempo una scienza matura si trova nello stadio della **scienza normale**, caratterizzato dall’universale adozione di un determinato “**paradigma**”, vale a dire di una cornice concettuale condivisa, nel cui ambito i membri di una **comunità scientifica** svolgono le proprie ricerche (**Lettura 4**). I paradigmi sono entità complesse che comprendono diversi ingredienti. Il più importante fra questi è costituito da alcune *teorie fondamentali* accettate senza riserve dalla comunità scientifica; per esempio, un ingrediente essenziale del paradigma della fisica ottocentesca era la teoria newtoniana della gravitazione. Un altro ingrediente è un *insieme di istruzioni* su come sviluppare le teorie fondamentali della disciplina e applicarle a nuovi problemi e ambiti fenomenici. I giovani scienziati ricevono queste istruzioni attraverso una serie di esempi, appresi dai manuali o dalla pratica di laboratorio, che si riferiscono alle applicazioni più semplici e consolidate delle teorie fondamentali. Dopo una lunga pratica con le applicazioni consolidate, gli scienziati più creativi riusciranno a scoprirne di nuove, contribuendo così allo sviluppo e alla generalizzazione delle teorie.

ANOMALIE E RIFIUTO DEL FALSIFICAZIONISMO POPPERIANO. La formulazione iniziale delle teorie paradigmatiche, cioè delle teorie accettate nell’ambito di un paradigma, è molto incompleta e imprecisa: tali teorie si limitano a descrivere alcuni aspetti generali dei fenomeni presi in esame. Per di più, la ricerca scientifica porta alla scoperta di numerose “**anomalie**”, cioè di fenomeni nuovi e inaspettati, che mettono in luce discrepanze talvolta molto vistose fra le teorie paradigmatiche e l’osservazione. Poiché un’anomalia è costituita da un evento in conflitto con le previsioni derivate dalla teoria, Popper la descriverebbe come un evento falsificante, cioè come un evento che rende necessario l’abbandono della teoria. Diversamente da Popper, Kuhn pensa che nessuna anomalia conduca all’abbandono di una teoria paradigmatica. Infatti, l’imperfezione dell’accordo esistente tra teoria e dati è un aspetto costitutivo della scienza normale: ciò significa che qualunque teoria nasce e si sviluppa in un oceano di anomalie. Di conseguenza, se qualsiasi anomalia fosse una ragione sufficiente per abbandonare una teoria, tutte le teorie dovrebbero essere abbandonate in ogni momento. L’analisi storica della scienza normale ci mostra, invece, che gli scienziati si guardano bene dall’abbandonare una teoria paradigmatica non appena scoprono un’anomalia: per esempio, lo sviluppo della teoria newtoniana è stato sempre accompagnato da numerose anomalie, ma questa circostanza non ha affatto spinto i fisici, per tutto il Settecento e l’Ottocento, ad abbandonare la teoria.

LA SOLUZIONE DI ROMPICAPO. Pur non determinando l’abbandono di una teoria paradigmatica, le anomalie spingono gli scienziati a riformulare e “aggiornare” le precedenti versioni della teoria: i fatti anomali vengono così trasformati in fatti che ci si dovrebbe attendere sulla base della versione aggiornata delle teorie. In un periodo di scienza normale il compito degli scienziati non è quello di falsificare o confermare

una teoria, come sostenevano Popper e i neoempiristi, ma quello di *completarla*, renderla più semplice e precisa, estenderla a sempre nuovi ambiti fenomenici e migliorare il suo accordo con le osservazioni. I disaccordi tra teoria e osservazione non sono buoni motivi per rifiutare una teoria, ma vanno piuttosto considerati “**rompicapo**” da risolvere. Per risolvere tali rompicapo gli scienziati possono seguire svariate strategie: modificare qualcuna delle ipotesi ausiliari utilizzate per derivare le previsioni sperimentali, mostrare che le osservazioni anomale sono l'effetto di distorsioni prodotte dagli apparati strumentali, e così via. In un periodo di scienza normale l'abilità degli scienziati viene giudicata in base al loro successo nel perseguire questo obiettivo; se il successo ottenuto è scarso, le critiche vengono rivolte agli scienziati e non alla teoria paradigmatica.

LE SCIENZE IMMATURE. La caratteristica saliente di una scienza immatura è la mancanza di un paradigma condiviso. La situazione di una **scienza immatura** è caratterizzata dallo scontro tra varie scuole, ciascuna delle quali cerca di far prevalere i propri presupposti teorici. Per esempio, a giudizio di Kuhn, ancora oggi quasi tutte le scienze sociali, a partire dalla psicoanalisi, si trovano nello stadio di scienze immature. In tale stadio i ricercatori cercano di falsificare le teorie rivali e confermare le proprie, nella speranza di farle accettare dalla maggioranza dei colleghi. Se una delle scuole rivali riesce nell'obiettivo di conquistare l'egemonia, trasformando il proprio sistema teorico nel paradigma dominante, la disciplina esce dallo stadio di scienza immatura per entrare in quello di scienza normale.

CRISI DI UN PARADIGMA E SCIENZA RIVOLUZIONARIA. Nello sviluppo di una scienza matura accade frequentemente che, dopo un periodo più o meno lungo di successi, il numero e la varietà di rompicapo irrisolti aumentino fino a raggiungere una soglia critica, a partire dalla quale la fiducia di una comunità scientifica nel proprio paradigma comincia a vacillare. In questo stadio dello sviluppo scientifico, caratterizzato dalla **crisi di un paradigma**, una parte degli scienziati cominciano a immaginare paradigmi alternativi. Se uno dei nuovi paradigmi comincia ad affermarsi, si entra nello stadio della **scienza rivoluzionaria**, caratterizzato dallo scontro frontale tra il nuovo e il vecchio paradigma. La situazione della scienza rivoluzionaria è simile a quella della scienza immatura; infatti i sostenitori del nuovo paradigma cercano di imporre la loro egemonia sulla disciplina, cosicché, se il loro tentativo riesce, si apre un nuovo periodo di scienza normale.

ASSENZA DI REGOLE METODOLOGICHE CONDIVISE NELLE RIVOLUZIONI SCIENTIFICHE. Proprio come accade nelle rivoluzioni politiche, anche nelle **rivoluzioni scientifiche** lo scontro tra le parti in lotta non può essere disciplinato da regole condivise. Infatti, nella prospettiva di Kuhn, le *regole metodologiche* usate per valutare il successo esplicativo² di una teoria, cioè il suo successo nella soluzione di rompicapo, sono

² Si noti che qui, come nel seguente capoverso e nelle Letture 1 e 3, l'aggettivo “esplicativo” corrisponde al sostantivo “spiegazione”. Infatti nella letteratura epistemologica in lingua italiana, “esplicativo” può riferirsi sia alla spiegazione sia al procedimento dell'esplicazione, illustrato nel primo capitolo. Nella letteratura in lingua inglese tale ambiguità non si presenta, poiché al sostantivo

strettamente legate al paradigma di cui la teoria fa parte. Per esempio, un difensore della fisica galileiana potrebbe fare appello alla semplicità matematica della legge di caduta dei gravi, ma il ricorso a questa regola metodologica non verrebbe accettato da un sostenitore della fisica aristotelica. Ciò significa che le regole metodologiche non sono affatto “regole del gioco” condivise dalle parti in conflitto, ma vanno considerate come una parte essenziale della “posta in gioco”.

L'OSSERVAZIONE È “CARICA DI TEORIA”. Si potrebbe pensare che la mancanza di regole metodologiche condivise non impedisca di confrontare, sia pure in modo approssimativo, il successo esplicativo di paradigmi rivali rispetto a un comune dominio di fenomeni. Tuttavia Kuhn esclude anche questa possibilità. A suo avviso, infatti, i sostenitori di paradigmi rivali non dispongono di un linguaggio osservativo condiviso e “neutrale” per la descrizione dei fenomeni, ma possono descriverli solo in linguaggi “impregnati di teoria”, cioè in linguaggi plasmati dalle teorie fondamentali dei loro paradigmi. Kuhn parla talvolta degli scienziati che lavorano con paradigmi differenti come di persone che vivono in mondi differenti. Poiché le osservazioni sono “cariche di teoria” (*theory laden*), nel senso che i fatti vengono osservati e descritti attraverso gli occhiali di una determinata teoria e del corrispondente paradigma, i sostenitori di paradigmi rivali osserveranno fatti diversi e descriveranno in modi molto diversi ciò che osservano.

L'IMPOSSIBILITÀ DEGLI ESPERIMENTI CRUCIALI. Risulterà quindi impossibile fare riferimento a resoconti osservativi comuni per confrontare paradigmi rivali. In particolare, Kuhn sostiene che **nella scienza non esistono esperimenti cruciali**, cioè esperimenti capaci di operare una discriminazione netta fra paradigmi rivali. Infatti, i sostenitori di paradigmi rivali vedranno e descriveranno in maniera profondamente diversa i risultati degli stessi esperimenti. Tali risultati non potranno quindi costituire una “base neutrale” per la scelta tra paradigmi.

CORPI OSCILLANTI E PENDOLI. Kuhn illustra le sue tesi sul “carico teorico” delle osservazioni con svariati casi tratti dalla storia della scienza, i quali suggeriscono che il modo in cui gli scienziati percepiscono i fatti è profondamente influenzato dal loro paradigma. Per esempio, nota che gli esseri umani hanno sempre visto che un corpo pesante appeso a una corda oscilla fino a raggiungere uno stato di quiete; tuttavia questo fenomeno venne percepito in modo diverso dagli aristotelici e da Galileo. Secondo il paradigma aristotelico un corpo pesante tende a raggiungere, per sua natura, uno stato di quiete in una posizione più bassa. Sotto l'influenza di questo paradigma, gli aristotelici percepivano un corpo oscillante come un corpo che, a causa del vincolo della corda, cadeva con difficoltà, raggiungendo lo stato di quiete nel punto più basso solo dopo un movimento tortuoso e prolungato. Galileo, invece, quando guardava un corpo oscillante vedeva un pendolo, cioè un corpo che tendeva a ripetere lo stesso movimento quasi all'infinito. Secondo Kuhn, Galileo riuscì a

explanation (spiegazione) corrisponde l'aggettivo “*explanatory*”, mentre a *explication* (esplicazione) corrisponde “*explicative*”.

trasformare la percezione aristotelica dei corpi oscillanti grazie a un mutamento di paradigma avvenuto nel Medioevo. Galileo, infatti, aveva imparato ad analizzare i movimenti nei termini della teoria dell'*impetus*, un paradigma tardomedievale nel quale il movimento continuo di un corpo pesante era dovuto a una forza interna impressa dall'agente che, lanciandolo, lo aveva messo in movimento. Kuhn non si limita a sostenere che gli aristotelici e Galileo videro gli stessi oggetti, ma li interpretarono e descrissero in modo diverso. Si spinge fino ad affermare che Galileo *vide oggetti differenti* da quelli percepiti dagli aristotelici. A suo giudizio, infatti, lo scienziato che abbraccia un nuovo paradigma assomiglia quindi a una persona che inforca occhiali invertenti e, anche se si trova di fronte allo stesso insieme di oggetti di prima e ne è cosciente, li vede completamente trasformati.

LA TESI DELL'INCOMMENSURABILITÀ. Kuhn ritiene che la mancanza di regole metodologiche condivise e di un linguaggio osservativo neutrale per la descrizione dei fenomeni renda impossibile una discussione *razionale* tra i sostenitori di paradigmi rivali. L'idea che paradigmi diversi siano "incommensurabili", cioè che non possano essere sottoposti a un confronto razionale su un terreno comune e secondo criteri condivisi, è nota come **tesi dell'incommensurabilità**. Secondo questa tesi l'accettazione di un nuovo paradigma non dipende dalla "bontà oggettiva" delle argomentazioni addotte a suo favore, bensì dalle capacità persuasive e organizzative dei suoi sostenitori. Per questo il cambiamento rivoluzionario di paradigma effettuato da una comunità scientifica è stato talvolta paragonato a una conversione religiosa di massa.

6.2. Programmi di ricerca, razionalità e progresso scientifico

OBIEZIONI DI IMRE LAKATOS ALLA TEORIA DELLA SCIENZA DI KUHN. L'analisi kuhniana della scienza ha esercitato un'ampia influenza e suscitato molte controversie. Tra gli studiosi influenzati da Kuhn, ricordiamo **Imre Lakatos**; fuggito dall'Ungheria dopo la repressione della rivoluzione antisovietica del 1956, fu prima allievo e poi severo critico di Popper. Sulla scia di Kuhn, Lakatos rifiuta l'idea popperiana di una razionalità "a colpo di pistola", in base alla quale un solo caso falsificante sarebbe sufficiente all'eliminazione definitiva di una teoria. Tuttavia, in polemica con Kuhn, insiste sulla razionalità del cambiamento scientifico e, di conseguenza, rifiuta la distinzione tra scienza normale e scienza rivoluzionaria e anche la tesi dell'incommensurabilità. A suo avviso è molto difficile rintracciare nella storia della scienza qualcosa di simile alla scienza normale, dato che la ricerca scientifica è raramente dominata da un solo paradigma. La situazione tipica è invece quella in cui vengono contemporaneamente sviluppati diversi paradigmi o, per usare il termine preferito da Lakatos, diversi "**programmi di ricerca**" in competizione fra loro.

IL CRITERIO DI PROGRESSO NELLA SCELTA RAZIONALE TRA PROGRAMMI DI RICERCA. Inoltre, in contrasto con la tesi dell'incommensurabilità, Lakatos sostiene che il confronto razionale tra programmi di ricerca rivali è perfettamente possibile. Tale

confronto dovrebbe basarsi sulla distinzione tra programmi di ricerca “progressivi” e “stagnanti”: i primi sono i programmi coronati da un lungo periodo di successi nella spiegazione di nuovi fenomeni, mentre i secondi sono quelli afflitti da un lungo periodo di insuccessi. Lakatos propone un *criterio di progresso* secondo il quale le comunità scientifiche dovrebbero abbandonare i programmi che si trovano da troppo tempo in uno stato di stagnazione e, nella scelta tra programmi rivali, dovrebbero preferire quelli progressivi a quelli stagnanti. Lakatos ritiene che il criterio di progresso fornisca adeguate indicazioni per la *scelta razionale tra programmi di ricerca rivali*. A suo giudizio, la storia della scienza ci mostra che il criterio di progresso ha effettivamente guidato la successione dei programmi di ricerca nell’ambito delle comunità scientifiche. Si deve quindi concludere che il *cambiamento scientifico* ha un carattere razionale e che, attraverso il succedersi di diversi programmi di ricerca, si realizza qualche forma *progresso scientifico*.

Il progresso scientifico al quale pensa Lakatos, su questo punto in pieno accordo con Popper, consiste nel raggiungimento di un alto grado di verosimilitudine, cioè nell’adozione di teorie sempre più vicine alla verità. Secondo Lakatos il criterio di progresso va inteso sia come un criterio di *carattere descrittivo*, nel senso che la storia della scienza ci mostra che è stato ampiamente adottato dai ricercatori, sia come un criterio dotato di *valore normativo*. A suo giudizio, infatti, si può mostrare che il criterio di progresso è un mezzo efficace per il raggiungimento dei fini della scienza, cioè di una crescente approssimazione alla verità; di conseguenza, tale criterio *dovrebbe* essere adottato nella pratica scientifica. Insistendo sul carattere normativo del criterio metodologico di progresso, Lakatos tenta di riconciliare la prospettiva storica dell’epistemologia postpositivista con l’idea, precedentemente sostenuta dai neoempiristi, che la scienza è governata da criteri metodologici di carattere normativo.

L’ANARCHISMO METODOLOGICO DI PAUL FEYERABEND. Nell’ambito delle epistemologie postpositiviste, Lakatos rappresenta uno dei più convinti “difensori del metodo”; a dispetto della sua stretta amicizia con Lakatos, il viennese Paul Feyerabend è invece il più radicale tra i “nemici del metodo”. Sulla base di ampi studi di storia della scienza e, in particolare, sull’opera di Galileo, Feyerabend giunge alla conclusione che la pratica scientifica non è governata da norme metodologiche vincolanti e immutabili. Nel volume *Contro il metodo. Abbozzo di una teoria anarchica della conoscenza* (*Against Method. Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, 1975) sviluppa una concezione, nota come **anarchismo metodologico**, compendiata in uno slogan, diventato subito famoso, secondo il quale l’unico principio applicabile in qualunque indagine scientifica è: “Qualsiasi cosa può andar bene”. Polemizzando con gli epistemologi che pretendono di avere identificato il “giusto” metodo che dovrebbe essere applicato in qualunque indagine scientifica, Feyerabend afferma che i migliori scienziati, a partire da Galileo, sono opportunisti senza scrupoli: quando le loro ricerche lo richiedono, sono sempre pronti a violare le regole metodologiche più accreditate. Secondo Feyerabend, questo atteggiamento opportunistico svolge una funzione molto positiva per il progresso della conoscenza scientifica. Infatti, le norme metodologiche escogitate dagli epistemologi sono caratterizzate da un grande livello

di generalità e astrattezza; di conseguenza, richiedere che gli scienziati si conformino rigidamente a tali norme, applicandole meccanicamente in qualunque indagine, senza alcuna considerazione per la peculiarità e la novità dei problemi scientifici da loro affrontati, significherebbe imporre una camicia di forza allo sviluppo della scienza.

Capitolo settimo

Rotture epistemologiche. La filosofia della scienza di Gaston Bachelard

GASTON BACHELARD E LA TRADIZIONE EPISTEMOLOGICA FRANCESE. Nella riflessione epistemologica possiamo individuare una tradizione tipicamente francese che inizia con Descartes e continua fino all'*Encyclopédie* e all'Illuminismo, per fiorire poi tra l'Ottocento e il Novecento, a opera di studiosi come Comte, Duhem e Poincaré. Anche se il clima filosofico francese del Novecento, fortemente influenzato dalla filosofia tedesca e specialmente dall'idealismo di Hegel e dal pensiero di Husserl e Heidegger, non era molto favorevole allo sviluppo della filosofia della scienza, la tradizione epistemologica francese non si interruppe e trovò la sua figura chiave in **Gaston Bachelard**. Titolare per molti anni della cattedra di Storia e filosofia della scienza alla Sorbona, nel 1954 Bachelard si ritirò dall'insegnamento lasciando il suo posto a Georges Canguilhem (1904-95), filosofo della biologia molto influente in Francia. Oltre a ispirare direttamente le ricerche di Canguilhem, l'opera di Bachelard ha esercitato una vasta influenza sulla filosofia francese. Tra gli studiosi che hanno apertamente riconosciuto il loro debito con Bachelard ricordiamo Louis Althusser, Michel Foucault e Jacques Lacan. Lo stile spesso oscuro di Bachelard e l'esposizione disorganica di molti suoi scritti hanno però ostacolato la diffusione della sua opera al di fuori dei confini francesi.

IL NUOVO SPIRITO SCIENTIFICO. La riflessione epistemologica di Bachelard viene ispirata dal "nuovo spirito scientifico" suscitato dagli sviluppi rivoluzionari della fisica nei primi decenni del ventesimo secolo. Con l'accettazione della teoria della relatività e della meccanica quantistica, gli scienziati avevano radicalmente modificato i concetti di spazio, tempo, causalità e sostanza che stavano alla base della fisica classica. Tali concetti, suscettibili di essere profondamente rivisti alla luce dell'indagine scientifica, non poterono quindi essere considerati, come aveva fatto Kant, categorie a priori fondate sulla natura del soggetto razionale.

L'APPROCCIO STORICO ALLA FILOSOFIA DELLA SCIENZA. Bachelard ritiene che "il giusto metodo" della scienza non possa essere delineato una volta per tutte, sulla base di considerazioni a priori. Ciò significa, per esempio, che i meccanismi dell'indagine scientifica non possono essere individuati sulla base di principi a priori relativi alle categorie mentali del soggetto o alla struttura logica del linguaggio scientifico. Per far luce sul metodo scientifico e sui meccanismi di sviluppo della scienza è invece necessario un approfondito esame della *pratica scientifica* come emerge dalla storia della scienza; la filosofia della scienza deve quindi essere intimamente connessa alla storia della scienza.

Un aspetto peculiare dell'*approccio storico alla filosofia della scienza* propugnato da Bachelard consiste nella posizione privilegiata attribuita alla scienza contemporanea. Infatti la scienza contemporanea, costituita dalle nostre più aggiornate teorie e concezioni scientifiche, rappresenta inevitabilmente il punto d'osservazione dal quale valutiamo il successo teorico della scienza passata, cioè delle teorie e dei metodi adottati da chi ci ha preceduto. *La storia della scienza ha quindi carattere valutativo*; il passato della scienza viene infatti valutato dal punto di vista del presente, distinguendo quelle parti della scienza passata che sono state "sancite" dalle nostre attuali conoscenze, cioè incorporate nella scienza attuale, da quelle non più valide.

ROTTURE EPISTEMOLOGICHE. Lungi dal rappresentare una semplice estensione del buon senso, il pensiero scientifico moderno è caratterizzato, secondo Bachelard, da una profonda discontinuità con la conoscenza comune. Infatti la scienza moderna nasce attraverso una **rottura epistemologica** con il senso comune, cioè una rottura con le illusioni dei sensi e dell'immaginazione. La nozione di rottura epistemologica svolge una funzione chiave nella filosofia della scienza di Bachelard. Non si riferisce solo all'atto di nascita della scienza moderna, ma anche alle trasformazioni rivoluzionarie che ne segnano lo sviluppo e ne consentono i progressi più significativi. In questa seconda accezione, "rottura epistemologica" è la netta discontinuità che ogni nuova e importante teoria scientifica attua rispetto alle teorie precedenti. È interessante osservare che le ricerche di Bachelard sulle rotture epistemologiche e il loro ruolo nella storia della scienza, avviate nel volume *La formazione dello spirito scientifico (La formation de l'esprit scientifique, 1938)*, hanno preceduto di un quarto di secolo le ricerche di Kuhn sulle strutture delle rivoluzioni scientifiche e, più in generale, hanno anticipato molti problemi affrontati dalle epistemologie postpositive.

OSTACOLI EPISTEMOLOGICI. Le rotture epistemologiche operate dalla scienza moderna richiedono il superamento di svariati "**ostacoli epistemologici**". Tali ostacoli sono modi di pensare, legati al senso comune o alle passate teorie scientifiche, che ci impediscono di cogliere verità fondamentali sul mondo (**Lettura 5**). Un esempio di ostacolo epistemologico è rappresentato dalle nozioni deterministiche ereditate dalla scienza moderna: come vedremo nel cap. 8, solo attraverso il loro superamento i fisici sono pervenuti alla scoperta e alla formulazione della meccanica quantistica. Gli sviluppi rivoluzionari della scienza, legati al superamento di ostacoli epistemologici, sono imprevedibili e di difficilissima attuazione perché tali ostacoli non operano in modo visibile. Un ostacolo epistemologico è infatti legato al nostro modo di vedere e pensare la realtà fenomenica, attraverso le lenti del senso comune o delle "vecchie" teorie scientifiche, e quello che vediamo e pensiamo in questo modo ci sembra tanto evidente da sottrarsi a ogni possibile interrogativo.

Possiamo dunque identificare gli ostacoli epistemologici solo retrospettivamente, alla luce di una rottura epistemologica già avvenuta; solo allora i fattori che hanno ostacolato una innovazione teorica rivoluzionaria vengono colti nella loro natura di ostacoli sulla strada del progresso scientifico. Secondo Bachelard gli ostacoli epistemologici vanno rintracciati tra quei fattori che modellano, condizionano e

limitano il nostro pensiero operando a un *livello inconscio* e, per così dire, precognitivo. Il processo che conduce al superamento di ostacoli epistemologici deve quindi attuarsi ai confini tra la dimensione conscia del pensiero teorico e quella inconscia dell'**immaginazione**.

SCIENZA E IMMAGINAZIONE POETICA. Anche se la scienza nasce da una netta rottura con le illusioni dei sensi e dell'immaginazione, Bachelard attribuisce un significato positivo al regno soggettivo e "poetico" dell'immaginazione. In una decina di libri sulla dimensione poetica del pensiero, delinea il progetto di una "psicoanalisi della ragione" che dovrebbe svelare il significato inconscio delle "immagini primitive", a partire da quelle relative a terra, aria, fuoco, e acqua. Secondo Bachelard il regno non scientifico dell'immaginazione rappresenta un necessario complemento estetico alla conoscenza scientifica. Ciò significa che la "coscienza diurna", di natura "maschile" e tesa alla ricerca dell'oggettività scientifica, deve venire integrata da una "coscienza notturna", di natura "femminile". La coscienza notturna sarebbe in grado di produrre le immagini primitive operando attraverso una creatività poetica che funziona con meccanismi simili a quelli del sogno.

Capitolo ottavo

Implicazioni epistemologiche della rivoluzione nella fisica del Novecento

FILOSOFIA GENERALE DELLA SCIENZA E FILOSOFIE SPECIALI DELLE SCIENZE. Gli scritti dei postpositivisti e di Bachelard hanno contribuito a diffondere l'idea, oggi largamente accettata, che la filosofia della scienza debba basarsi su una conoscenza approfondita della **storia della scienza**, compresi i suoi ultimi sviluppi rappresentati dalla corrente pratica scientifica. Questa convinzione ha spinto gli epistemologi a studiare le procedure sperimentali, i metodi di indagine e i fondamenti concettuali delle singole discipline scientifiche. In tal modo si sono sviluppate la filosofia della fisica, la filosofia della biologia, la filosofia delle scienze sociali e altre **filosofie "speciali" delle scienze**. Le filosofie speciali vanno distinte dalla **filosofia "generale" della scienza**, la quale tratta problemi metodologici di carattere generale che, almeno in linea di principio, coinvolgono qualunque disciplina scientifica. Questi problemi comprendono, per esempio, la valutazione delle ipotesi, la natura della spiegazione scientifica e il rapporto tra osservazione e teoria, di cui ci siamo occupati nei capitoli precedenti. In questo capitolo forniremo, invece, un esempio delle questioni affrontate dalle filosofie speciali delle scienze, considerando alcuni problemi di filosofia della fisica posti dallo sviluppo della **meccanica quantistica**.

LA RIVOLUZIONE NELLA FISICA: TEORIA DELLA RELATIVITÀ E MECCANICA QUANTISTICA. Nei primi trent'anni del Novecento la fisica fu sconvolta da una grande rivoluzione, iniziata intorno al 1905 con lo sviluppo della teoria della relatività da parte del fisico tedesco, poi naturalizzato statunitense, Albert Einstein (1879 - 1955). La seconda fase della rivoluzione, avviata dalle ricerche del fisico tedesco Max Planck (1858-1947) e Einstein sulla teoria dei quanti, giunse a maturazione negli anni Venti, con le prime formulazioni della meccanica quantistica a opera del fisico tedesco Werner Heisenberg (1901-1976), dell'austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961), del danese Niels Bohr (1885-1962) e dell'inglese Paul Dirac (1902-1984). La **teoria della relatività** e la **meccanica quantistica**, presto confermate da una grande varietà di evidenze empiriche, posero rapidamente fine a due secoli di incontrastato dominio della meccanica newtoniana. La teoria della relatività ci mostra, infatti, che la meccanica newtoniana fornisce una descrizione inadeguata del comportamento dei corpi che si muovono a velocità molto elevate, o che sono vicini a masse gravitazionali molto grandi; mentre la meccanica quantistica ci dice che il microcosmo dell'atomo si comporta in modo molto diverso da quello descritto dalle leggi newtoniane.

IMPLICAZIONI DELLA RIVOLUZIONE NELLA FISICA PER LA FILOSOFIA GENERALE DELLA SCIENZA. I rivoluzionari sviluppi della fisica nei primi decenni del Novecento ebbero

notevoli implicazioni per la filosofia generale della scienza. Per esempio, come si è accennato nei capitoli precedenti, stimolarono la riflessione dei neoempiristi, di Popper e di Bachelard su alcuni importanti problemi epistemologici. I neoempiristi e Popper furono spinti ad affrontare il problema della giustificazione delle teorie scientifiche, giungendo però a conclusioni fra loro opposte. Il subitaneo abbandono della teoria di Newton, nonostante la straordinaria quantità di conferme sperimentali precedentemente ottenute, spinse i neoempiristi alla ricerca di adeguati criteri per la giustificazione induttiva delle teorie scientifiche. In aperta polemica con questo obiettivo, Popper sostenne che una caratteristica fondamentale della teoria della relatività, e di qualunque buona ipotesi scientifica, consisteva nel suo elevato grado di falsificabilità, cioè nell'elevato rischio di venire falsificata dalle osservazioni sperimentali. Ricordiamo, infine, che le rivoluzionarie trasformazioni concettuali che aprirono la strada alla nuova fisica ispirarono il concetto di rottura epistemologica, che svolge un ruolo chiave nella filosofia di Bachelard. Oltre alle sue implicazioni per la filosofia generale della scienza, la rivoluzione nella fisica ispirò approfondite ricerche sui fondamenti concettuali della teoria della relatività e della meccanica quantistica, ricerche che hanno dato vita all'odierna filosofia della fisica. Non possiamo qui occuparci della radicale trasformazione dei concetti di spazio e di tempo operata dalla teoria della relatività; possiamo però considerare brevemente alcuni problemi concettuali relativi alla concezione indeterministica dischiusa dalla meccanica quantistica.

DALLA TEORIA ATOMICA ALLA MECCANICA QUANTISTICA. Nel quindicennio compreso tra il 1895 e il 1910, le numerose scoperte compiute dai fisici sperimentali produssero schiaccianti conferme della teoria atomica, cioè della teoria secondo cui la struttura della materia è discontinua. Nel 1900 Planck, riflettendo sui risultati della ricerca sperimentale sulle radiazioni del corpo nero, formulò una rivoluzionaria ipotesi teorica per cui anche l'energia ha carattere "discreto", cioè discontinuo. Infatti secondo l'ipotesi di Planck, l'energia non varia in modo graduale e continuo, ma attraverso piccoli "salti" o "quanti d'azione"; più precisamente, l'energia è sempre multipla di un valore h , non ulteriormente divisibile, diventato poi noto come costante di Planck.³

Nel tentativo di offrire una spiegazione coerente dei risultati sperimentali ottenuti in svariate aree della fisica vennero proposti diversi modelli di atomo. Nel modello

³ La plausibilità dell'ipotesi di Planck si accrebbe notevolmente quando Einstein, nel 1905, la usò per spiegare l'effetto fotoelettrico. Tale effetto, scoperto nel 1887 dal fisico tedesco Heinrich Hertz (1857-1894), consiste nell'emissione di elettroni da parte di una superficie metallica colpita dalla luce. La spiegazione proposta da Einstein si basa sull'ipotesi che la luce abbia una struttura discreta, e che ogni quanto di luce, o fotone, possieda un'energia $h\nu$, dove h è la costante di Planck e ν è la frequenza della luce. Quando un fotone colpisce un elettrone sulla superficie del metallo, cede tutta la sua energia $h\nu$ all'elettrone; se tale energia supera una certa soglia A , il cui valore dipende dal tipo di metallo, allora l'elettrone riesce a superare le forze che lo trattengono alla superficie del metallo, dando così luogo all'effetto fotoelettrico.

“planetario” noto a tutti, introdotto nel 1911 dal fisico britannico Ernest Rutherford (1871-1937), l’atomo assomiglia a un piccolo sistema solare, costituito da un nucleo composto da protoni e neutroni, intorno al quale ruotano particelle con carica elettrica negativa dette elettroni. Il modello planetario fu perfezionato da Bohr, il quale ipotizzò che, nella loro rotazione attorno al nucleo, gli elettroni potessero muoversi solo su alcune particolari orbite, dette orbite stazionarie; ciò significa che un elettrone non può passare gradualmente da un’orbita all’altra, ma può solo scomparire da un’orbita stazionaria e riapparire in un’altra, senza trovarsi mai in uno stato intermedio. Bohr suggerì, in accordo con l’ipotesi di Planck, che ogni repentino cambiamento nell’orbita dell’elettrone è accompagnato da un “salto quantico”, cioè da un cambiamento altrettanto discontinuo della sua energia.

Poiché il movimento degli elettroni e delle altre particelle elementari violava le leggi della meccanica newtoniana, i fisici si misero alacremente al lavoro nel tentativo di elaborare una nuova teoria in grado di fornire un’adeguata rappresentazione del microcosmo atomico. Nel corso degli anni Venti questi tentativi furono coronati da successo con lo sviluppo della meccanica quantistica, dove il termine “quantistica” si riferisce al carattere discreto, o “a quanti”, dell’energia e di altre grandezze fisiche.

IL PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI HEISENBERG. Una delle conseguenze più sorprendenti, e ricche di implicazioni filosofiche, della meccanica quantistica è costituita dal famoso **principio di indeterminazione**, formulato da Heisenberg nel 1927. In base a tale principio vi è un limite fisico insuperabile alla precisione con la quale possiamo misurare la posizione e la velocità di un elettrone o di altre particelle. Ciò significa, per esempio, che se aumentiamo la precisione con cui misuriamo la velocità di un elettrone dobbiamo necessariamente diminuire la precisione con cui ne misuriamo la posizione. In altre parole, ogni tentativo di diminuire la nostra incertezza circa l’effettiva velocità dell’elettrone sarà seguito da un aumento della nostra incertezza circa la sua posizione. E’ importante notare che l’impossibilità di misurare posizione e velocità di un elettrone con precisione grande a piacere non dipende dall’attuale arretratezza dei nostri apparati di misurazione, ma dalla *natura quantistica del microcosmo atomico*. Infatti, ogni misurazione presuppone qualche interazione tra i nostri apparati di misura e l’elettrone. Tale interazione disturba *inevitabilmente* lo stato di moto dell’elettrone, vale a dire la sua posizione e la sua velocità. Sfortunatamente, a causa del carattere quantistico dell’energia, non potremo mai rendere il disturbo “piccolo a piacere”; di conseguenza non potremo accrescere a piacere, neppure in linea di principio, la precisione delle nostre misurazioni.

IL CARATTERE PROBABILISTICO DELLA MECCANICA QUANTISTICA. Nell’impossibilità, sancita dal principio di indeterminazione, di ottenere informazioni complete e precise sullo stato di moto di un elettrone in un dato istante, non potremo neppure fare previsioni precise sul suo comportamento futuro. Dovremo invece accontentarci di fare *previsioni probabili*, consistenti nell’attribuire determinate probabilità ai possibili stati futuri dell’elettrone. Il principio di indeterminazione pone così in evidenza il **carattere probabilistico della meccanica quantistica**, che rappresenta una delle più significative differenze tra la nuova teoria e la meccanica newtoniana.

DETERMINISMO E INDETERMINISMO. Secondo molti studiosi il principio di indeterminazione, insieme con altre leggi e principi della meccanica quantistica, ci obbliga ad abbandonare il determinismo, associato alla meccanica newtoniana, per abbracciare una visione indeterministica del mondo fisico. Questa affermazione può essere compresa meglio tenendo presente il significato del concetto di determinismo.

Una **teoria fisica deterministica** è una teoria che, sulla base di precise informazioni sullo “stato iniziale” di un sistema fisico in un dato istante t , permette di determinare lo stato del sistema in qualunque istante t' , passato o futuro, diverso da t . Un esempio tipico di teoria deterministica è dato dalla meccanica newtoniana. Potremmo identificare il **determinismo** con la tesi che il mondo fisico può essere correttamente descritto da qualche teoria deterministica, e l'**indeterminismo** con il rifiuto di questa tesi. Se abbracciamo il determinismo, dobbiamo ritenere che, almeno per quanto riguarda il mondo fisico, il futuro sia “chiuso”, cioè esista un solo futuro compatibile con il presente; al contrario, l'indeterminismo ci porta ad accettare l'idea che il futuro sia “aperto”. La maggior parte degli studiosi pensano che il principio di indeterminazione e, più in generale, i principi e le leggi della meccanica quantistica, ci obblighino ad accettare l'indeterminismo: infatti, negando la possibilità teorica di determinare con precisione lo stato iniziale di un sistema microfisico, la meccanica quantistica sembra implicare l'impossibilità di determinare con precisione il futuro sulla base del presente.

LEGGI STATISTICHE. Gli esiti indeterministici della meccanica quantistica non dipendono solo dal principio di indeterminazione ma, più in generale, dal fatto che quasi tutti i suoi principi sono costituiti da **leggi statistiche**. Tali leggi ci consentono di stabilire che eventi di un certo tipo accadranno un certo numero di volte in un dato intervallo di tempo, ma non di prevedere esattamente quando accadrà un particolare evento; per esempio, ci consentono di stabilire il numero medio di nuclei di una sostanza radioattiva che si disintegreranno in un dato intervallo di tempo, ma non il momento preciso in cui un particolare nucleo si spezzerà. Anche se la maggior parte dei fisici hanno accettato l'indeterminismo della meccanica quantistica, alcuni si sono mostrati poco propensi ad abbandonare la concezione deterministica del mondo che aveva trovato la sua esposizione classica nell'opera di Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). Tra gli avversari dell'indeterminismo il nome più insigne è quello di Einstein, il quale, nel corso di infuocate discussioni con Heisenberg, espresse la sua fiducia nel determinismo, affermando ripetutamente di non poter credere che “Dio giochi con i dadi”. Secondo Einstein la descrizione del microcosmo fornita dalla meccanica quantistica avrebbe dovuto essere completata da una teoria di carattere deterministico. Sulla scia di Einstein, alcuni fisici, a partire dallo statunitense David Bohm (1917-1994), hanno tentato di completare la meccanica quantistica mediante la formulazione di “teorie a variabili nascoste”, basate cioè sull'ipotesi che esistano entità e processi trascurati dalla meccanica quantistica, ma la cui conoscenza ci permetterebbe di fornire una descrizione deterministica del microcosmo atomico. Per molti anni il dibattito tra i fautori dell'indeterminismo e quelli delle variabili nascoste è rimasto a un livello puramente teorico. Tuttavia, a partire dalla metà degli anni

Sessanta, la discussione sulle variabili nascoste ha dato luogo, a opera di studiosi come l'irlandese John S. Bell (1928-1990) e il francese Alain Aspect (1947-vivente), a un vasto programma di ricerche sperimentali, ancora in corso, che ha già fornito molti interessanti risultati.

I termini “complesso” e “complessità”, assieme ai loro contrari “semplice” e “semplicità”, sono stati usati nell’analisi di svariati problemi filosofici. Negli ultimi decenni hanno avuto un’enorme diffusione anche nel linguaggio scientifico: si parla infatti di teorie della complessità con riferimento ad almeno due dozzine di teorie scientifiche. Illustreremo qui alcuni temi della riflessione filosofica sulla complessità. In primo luogo considereremo l’uso della distinzione “semplicità/complessità” nell’analisi del metodo scientifico. Successivamente forniremo qualche ragguaglio sulle recenti teorie scientifiche della complessità. Infine, mostreremo come questi sviluppi scientifici abbiano suscitato alcuni filoni di ricerca filosofica ai quali ci si riferisce spesso con l’espressione “filosofia della complessità”.

9.1. Semplicità teorica, complessità del mondo e metodo scientifico

LA REGOLA DI SEMPLICITÀ. La coppia di contrari “semplicità/complessità” è stata ampiamente usata in filosofia e, in particolare, nell’analisi del metodo scientifico. Infatti la scienza viene spesso identificata con la ricerca di **teorie semplici** in grado di spiegare adeguatamente la straordinaria **complessità del mondo**. Ciò significa che gli scienziati cercano teorie in grado di ricondurre la complessità del mondo visibile ad alcune semplici regolarità che sfuggono allo sguardo del profano. Nel tentativo di giustificare l’idea intuitiva che la ricerca della semplicità sia un obiettivo fondamentale dell’indagine scientifica, gli epistemologi si sono chiesti se vi siano buone ragioni per seguire la **regola di semplicità**, cioè la regola metodologica che consiglia di accettare la più semplice fra tutte le teorie che spiegano adeguatamente i fenomeni. A questo riguardo, molti sostenitori del realismo scientifico (su cui vedi cap. 5.3), cioè della concezione secondo la quale il fine fondamentale dell’indagine scientifica è costituito dalla ricerca della verità, affermano che le teorie più semplici hanno una maggiore probabilità di essere vere: la semplicità va quindi intesa come un obiettivo strumentale, funzionale al perseguimento della verità.

LA COMPLESSITÀ ONTOLOGICA DEL MONDO. La ricerca di teorie vere dotate di grande semplicità viene inevitabilmente limitata dalla **complessità ontologica** del mondo, cioè dal grado di complessità del sistema di oggetti considerati nell’ambito di una determinata indagine scientifica. Nel volume *Complessità. Una rassegna filosofica* (*Complexity. A Philosophical Overview*, 1998) il filosofo statunitense di origine tedesca Nicholas Rescher (1928-vivente), distingue sei tipi principali di complessità ontologica, raggruppati in tre coppie. La **complessità compositiva** di un sistema dipende dal numero dei suoi componenti (complessità costituzionale) e dalla loro varietà, cioè dal

numero dei differenti tipi di componenti (complessità tassonomica). La **complessità strutturale** dipende dal modo in cui gli elementi del sistema interagiscono fra loro (complessità organizzativa) e sono collegati l'uno con l'altro in rapporti gerarchici o di coordinazione (complessità gerarchica). Infine, la **complessità funzionale** di un sistema dipende dalla varietà dei suoi modi di operare e svilupparsi nel corso del tempo (complessità operativa) e dal carattere più o meno elaborato delle leggi che governano le interazioni tra i suoi elementi (complessità nomica).

9.2. Teorie scientifiche della complessità

LA NOZIONE DI COMPLESSITÀ NELLE SCIENZE. A partire dalla seconda metà del secolo scorso il termine "complessità", fino ad allora usato solo nel linguaggio quotidiano e in quello filosofico, si è diffuso anche nella scienza. Nella seguente lista vengono elencate, a puro scopo esemplificativo, alcune **teorie della complessità** elaborate in diversi ambiti del sapere scientifico:

Matematica e scienza dei calcolatori. Teoria della complessità computazionale; teoria degli automi cellulari; cibernetica; teoria delle catastrofi; teoria dei frattali.

Fisica. Teoria dei sistemi dissipativi; teoria dei sistemi caotici.

Scienze biologiche. Teoria generale dei sistemi; teorie dell'auto-organizzazione e dei sistemi adattivi complessi; teorie degli algoritmi genetici e della vita artificiale.

Scienze sociali. Teoria delle società artificiali.

Possiamo formarci un'idea della pluralità di significati legati agli usi scientifici della nozione di complessità considerando due fra le teorie della complessità appena menzionate, cioè la teoria dei sistemi caotici e la teoria delle società artificiali.

TEORIA DEI SISTEMI CAOTICI. Si parla di sistemi caotici, o anche di caos deterministico, con riferimento a certi tipi di sistemi fisici deterministici (su cui vedi cap. 8) nei quali piccolissimi cambiamenti nelle condizioni del sistema in un determinato istante bastano a produrre cambiamenti di ampia scala dopo un periodo di tempo sufficientemente lungo. Poiché, in generale, non siamo in grado di stabilire i dettagli delle attuali condizioni di sistema fisico, non possiamo prevedere neppure approssimativamente lo stato di un sistema caotico nel lontano futuro. L'imprevedibilità dei sistemi caotici dipende dalla **complessità delle leggi** deterministiche che li governano: non va quindi confusa, come si fa spesso nelle esposizioni divulgative, con quella di sistemi fisici indeterministici governati da leggi statistiche, come quelli considerati dalla meccanica quantistica (su cui vedi cap. 8).

LA TEORIA DELLE SOCIETÀ ARTIFICIALI. La teoria delle società artificiali si basa sull'idea che le complesse regolarità nel comportamento di un sistema sociale siano l'effetto di poche e semplici regolarità nelle interazioni tra i membri del sistema. Nell'ultimo trentennio questa idea è stata opportunamente formalizzata e incorporata nelle cosiddette **società artificiali**, cioè in programmi per la simulazione

computerizzata dei sistemi sociali. Una delle prime società artificiali si deve all'economista statunitense Thomas C. Schelling (1921-vivente), vincitore nel 2005 del premio Nobel per l'economia. Nel volume *Micromotivi e macrocomportamento* (*Micromotives and Macrobehavior*, 1978), Schelling impiegò i metodi di simulazione per analizzare i processi di segregazione che portano alla formazione di quartieri abitati quasi soltanto da individui dello stesso gruppo etnico.

Quello che segue è un semplice esempio, tratto da *La complessità della cooperazione. Modelli basati su agenti della competizione e della collaborazione* (*The Complexity of Cooperation. Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, 1997) dello scienziato politico statunitense Robert Axelrod (19??-vivente), nel quale si spiega il modo in cui il **modello di segregazione di Schelling** viene applicato. Possiamo rappresentare lo spazio residenziale come una scacchiera con sessantaquattro quadrati sui quali vengono collocati casualmente un certo numero di agenti Bianchi e Neri, avendo cura che ogni quadrato ospiti non più di un agente e che alcuni quadrati siano lasciati vuoti. I *vicini immediati* di un agente sono gli occupanti degli otto quadrati adiacenti al suo. Immaginiamo ora che gli agenti possano migrare sulla scacchiera in base a questa semplice regola di comportamento: un agente è soddisfatto della sua collocazione sulla scacchiera, e resta quindi nel suo quadrato, se almeno tre dei suoi vicini immediati sono del suo stesso colore; altrimenti l'agente non è soddisfatto e si sposta nel più vicino tra i quadrati liberi che gli permette di essere soddisfatto. Possiamo ora distribuire casualmente sulla scacchiera una quarantina di agenti Bianchi e Neri, applicare a tutti la regola di comportamento appena descritta e ripetere il processo una cinquantina di volte. Vedremo allora molto distintamente il manifestarsi della segregazione spaziale, cioè della tendenza degli agenti ad aggregarsi in zone cromaticamente omogenee. Le piccole dimensioni di questo specifico modello ci consentono di effettuare la simulazione anche "a mano". Tuttavia, non appena rendiamo il modello più realistico, considerando scacchiere con alcune migliaia di caselle e agenti, e numerose ripetizioni del processo, diventa indispensabile ricorrere a tecniche di simulazione computerizzata.

9.3. Esiste una filosofia della complessità?

Il termine **filosofia della complessità** viene usato in almeno due accezioni. La prima si riferisce alle ricerche condotte nella filosofia della matematica, della fisica, della biologia, delle scienze sociali e in altre filosofie speciali delle scienze (su cui vedi cap. 8), allo scopo di analizzare i problemi epistemologici sollevati dalle teorie della complessità sviluppate nelle diverse discipline scientifiche. La seconda accezione, che illustreremo ora, si riferisce invece a un progetto filosofico tanto ambizioso quanto controverso.

Le nozioni di complessità utilizzate in diversi campi scientifici presentano innegabili differenze di significato, ma anche diverse somiglianze. A partire da questa considerazione, alcuni studiosi hanno proposto un progetto filosofico basato sull'idea

che le teorie scientifiche della complessità possano venire, in qualche modo, unificate. Secondo i sostenitori di questo progetto, a proposito del quale si parla spesso di filosofia della complessità, dovremmo elaborare una teoria generale della complessità, o una **logica della complessità**, applicabile nell'analisi dei più disparati problemi scientifici e filosofici. Tale logica consentirebbe di individuare modalità logiche alternative rispetto alla logica classica (si veda Valentina De Angelis, *La logica della complessità*, 1996). A nostro parere la possibilità e l'esatta natura di una logica della complessità sono tutt'altro che stabilite.

Negli ultimi anni diversi autori hanno denunciato gli usi filosofici impropri delle nozioni di complessità tratte dalle scienze. Per esempio, nel volume *Impostures Intellectuelles (Imposture intellettuali)*, 1999 il fisico statunitense Alan Sokal (1955-vivente) e il belga Jean Bricmont (1952-vivente) affermano che l'impiego disinvolto del concetto di complessità è alla base di vere e proprie imposture intellettuali, di cui si sarebbero resi responsabili Jean Baudrillard (1929-vivente), Jean François Lyotard (1924-1998) e altri esponenti del cosiddetto **pensiero postmoderno**.

Testi consigliati

- G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 1938; tr. it. di E. Castelli Gattinara, *La formazione dello spirito scientifico. Contributo a una psicoanalisi della conoscenza oggettiva*, Milano, Raffaello Cortina, 1995.
- R. Carnap, *Philosophical Foundations of Physics* (a cura di M. Gardner), New York, Basic Books, 1966; tr. it. di G. Carrier, *I fondamenti filosofici della fisica. Introduzione alla filosofia della scienza*, Milano, il Saggiatore, 1981.
- C.G. Hempel, *Philosophy of Natural Sciences*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1966; tr. it. di A. Berra, *Filosofia delle scienze naturali*, 2^a ed. it., Bologna, il Mulino, 1980.
- P. Kosso, *Reading the Book of Nature. An Introduction to the Philosophy of Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992; tr. it. di S. Bernini, *Leggere il libro della natura. Introduzione alla filosofia della scienza*, Bologna, il Mulino, 1995.
- T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, The University of Chicago Press, 1962, 2^a ed. 1970; tr. it. di A. Carugo, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1979.
- D. Oldroyd, *The Arch of Knowledge. An Introductory Study of the History of the Philosophy of Science*, Methuen, New York e Londra, 1986; tr. it. di L. Sosio, *Storia della filosofia della scienza*, Milano, il Saggiatore, 1989.
- K.R. Popper, *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, London, Routledge and Kegan Paul, 1963, 3^a ed. 1969; tr. it. di G. Pancaldi, *Congetture e confutazioni. Lo sviluppo della conoscenza scientifica*, Bologna, il Mulino, 1985.

Karl Popper, *La demarcazione tra scienza e pseudoscienza*

Nel 1963, a quasi trent'anni dalla pubblicazione del suo capolavoro Logica della scoperta scientifica (Logik der Forschung, 1934), Popper pubblicò un volume, dal titolo Congetture e confutazioni, che raccoglieva i testi di venti conferenze e saggi pubblicati tra gli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Sessanta. Le pagine che seguono sono tratte da una conferenza tenuta nell'estate del 1953 a Cambridge, nell'ambito di un corso sugli sviluppi e le tendenze della filosofia britannica. Popper decise di presentare una sintesi del suo lavoro nel campo della filosofia della scienza, a partire dall'autunno del 1919, quando affrontò per la prima volta il problema di come si potesse formulare un criterio per distinguere le teorie scientifiche da quelle che sembrano esserlo, ma non lo sono. Poiché Popper nacque nel 1902, è facile dedurre che, all'epoca in cui iniziò la sua riflessione filosofica, aveva solo diciassette anni.

[Nell'] autunno 1919 [...] per la prima volta affrontai questo problema: “quando dovrebbe considerarsi scientifica una teoria?”, ovvero “esiste un criterio per determinare il carattere o lo stato scientifico di una teoria?”. Il problema che allora mi preoccupava non era né “quando una teoria è vera?” né “quando una teoria è accettabile?”. Il mio problema era diverso. *Desideravo stabilire una distinzione tra scienza e pseudoscienza*, pur sapendo bene che la scienza spesso sbaglia e che la pseudoscienza può talora, per caso, trovare la verità.

Naturalmente, conoscevo la risposta che si dava il più delle volte al mio problema: la scienza si differenzia dalla pseudoscienza – o dalla “metafisica” – per il suo *metodo empirico*, che è essenzialmente *induttivo*, procedendo dall'osservazione o dall'esperimento. Tuttavia questa risposta non mi soddisfaceva. Al contrario, spesso formulavo il mio problema nei termini dell'opportunità di distinguere fra un metodo empirico e un metodo non empirico o addirittura pseudoempirico, tale, cioè, che pur facendo appello all'osservazione e all'esperimento, non si adegui in ogni caso a criteri scientifici. Quest'ultimo metodo può esemplificarsi con l'astrologia, dotata di una straordinaria quantità di testimonianze empiriche, fondate sull'osservazione, gli oroscopi e le biografie.

Ma, poiché non fu il caso dell'astrologia a mettermi di fronte al mio problema, dovrei forse descrivere brevemente l'atmosfera in cui tale problema sorse e gli esempi che la stimolarono. Dopo il crollo dell'impero austriaco, in Austria c'era stata una rivoluzione: circolavano ovunque *slogans* e idee rivoluzionari, come pure teorie nuove e spesso avventate. Fra quelle che suscitarono il mio interesse, la teoria della relatività di Einstein fu indubbiamente, di gran lunga, la più importante. Le altre tre

furono: la teoria marxista della storia, la psicanalisi di Freud e la cosiddetta “psicologia individuale” di Alfred Adler.⁴

[...] Tutti noi – nel piccolo circolo di studenti cui appartenevo – ci esaltammo per il risultato delle osservazioni compiute da Eddington nel corso dell’eclisse del 1919, osservazioni che offrirono la prima importante conferma alla teoria einsteiniana della gravitazione.⁵ [...]

Anche le altre tre teorie che ho ricordato, furono allora oggetto di ampie discussioni fra gli studenti. Io stesso ebbi l’occasione di venire in contatto personalmente con Alfred Adler, e anche di collaborare con lui nella sua attività sociale fra i bambini e i giovani dei quartieri operai di Vienna, dove egli aveva istituito dei centri per l’orientamento sociale.

Fu durante l’estate del 1919 che cominciai a sentirmi sempre più insoddisfatto di queste tre teorie: la teoria marxista della storia, la psicanalisi e la psicologia individuale; e cominciai a dubitare delle loro pretese di scientificità. Il mio problema dapprima assunse, forse, la semplice forma: [...] “Perché queste dottrine sono così diverse dalle teorie fisiche, dalla teoria newtoniana, e soprattutto dalla teoria della relatività?”

Per chiarire questo contrasto, dovrei spiegare che pochi di noi allora avrebbero affermato di credere nella *verità* della teoria einsteiniana della gravitazione. Ciò mostra che quel che mi preoccupava nelle altre teorie non era un dubbio circa la loro verità, bensì qualcos’altro. [...]

Riscontrai che i miei amici, ammiratori di Marx, Freud e Adler, erano colpiti da alcuni elementi comuni a queste teorie e soprattutto dal loro apparente *potere*

⁴ Alfred Adler (1870-1937), psicologo austriaco. Seguace di Sigmund Freud (1856-1939), se ne separò nel 1910, avendone criticato la teoria della sessualità. Dal 1924 insegnò negli Stati Uniti. La psicologia individuale sviluppata da Adler rappresenta, assieme alla psicanalisi freudiana e alla psicologia analitica dello svizzero Carl Gustav Jung (1875-1961), una delle tre versioni classiche della cosiddetta *psicologia del profondo*. La differenza fondamentale tra la psicanalisi freudiana e la psicologia individuale riguarda il ruolo della coscienza rispetto a quello dell’incoscio. In opposizione a Freud, Adler ritiene che il ruolo della coscienza sia decisivo: gli individui sono sostanzialmente consapevoli delle proprie motivazioni e responsabili delle proprie azioni. Dalla psicologia individuale derivano due concetti che si sono diffusi nell’uso comune: il *complesso di inferiorità* e lo *stile di vita*. Secondo Adler il senso di inferiorità che nasce nel bambino, in seguito alla sua inferiorità organica, è alla base di una pulsione aggressiva che fornisce gran parte dell’energia psichica. Sentendosi inadeguato, a partire dal quarto o quinto anno di vita, ogni individuo si crea un suo peculiare stile di vita, cioè una modalità esistenziale che mira a ottenere una *superiorità* nei confronti degli altri, intesa come piena autorealizzazione. Tale desiderio di autorealizzazione costituisce una motivazione più forte di ogni altra, anche di quella sessuale.

⁵ Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), fisico e astronomo inglese. Nel 1919 Eddington condusse una famosa spedizione per osservare un’eclisse a Principe Island, nell’Africa Occidentale, allo scopo di controllare se l’inclinazione della luce che passava vicina al Sole era in accordo con le previsioni della teoria della relatività di Einstein. I risultati ottenuti da Eddington confermarono in pieno la teoria einsteiniana.

esplicativo. Esse sembravano in grado di spiegare praticamente tutto ciò che accadeva nei campi cui si riferivano. Lo studio di una qualunque di esse sembrava avere l'effetto di una conversione o rivelazione intellettuale, che consentiva di levare gli occhi su una nuova verità, preclusa ai non iniziati. Una volta dischiusi in questo modo gli occhi, si scorgevano ovunque delle conferme: il mondo pullulava di *verifiche* della teoria. Qualunque cosa accadesse, la confermava sempre. La sua verità appariva perciò manifesta; e, quanto agli increduli, si trattava chiaramente di persone che non volevano vedere la verità manifesta, che si rifiutavano di vederla, o perché era contraria ai loro interessi di classe, o a causa delle loro repressioni tuttora "non-analizzate", e reclamanti ad alta voce un trattamento clinico.

L'elemento più caratteristico di questa situazione mi parve il flusso incessante delle conferme, delle osservazioni, che "verificavano" le teorie in questione; e proprio questo punto veniva costantemente sottolineato dai loro seguaci. Un marxista non poteva aprire un giornale senza trovarvi in ogni pagina una testimonianza in grado di confermare la sua interpretazione della storia [...]. Quanto a Adler, restai molto colpito da un'esperienza personale. Una volta, nel 1919, gli riferii di un caso che non mi sembrava particolarmente adleriano, ma che egli non trovò difficoltà ad analizzare nei termini della sua teoria dei sentimenti di inferiorità, pur non avendo nemmeno visto il bambino. Un po' sconcertato, gli chiesi come poteva essere così sicuro. "A causa della mia esperienza di mille casi simili" egli rispose; al che non potei trattenermi dal commentare: "E con questo ultimo, suppongo, la sua esperienza vanta milleuno casi".

[...]

Era precisamente questo fatto – il fatto che [le teorie di Freud e Adler] erano sempre adeguate e risultavano sempre confermate – ciò che agli occhi dei sostenitori costituiva l'argomento più valido a loro favore. Cominciai a intravedere che questa loro apparente forza era in realtà il loro elemento di debolezza.

Nel caso della teoria di Einstein, la situazione era notevolmente diversa. Si prenda un esempio tipico – la previsione einsteiniana, confermata proprio allora dai risultati della spedizione di Eddington. La teoria einsteiniana della gravitazione aveva portato alla conclusione che la luce doveva essere attratta dai corpi pesanti come il sole, nello stesso modo in cui erano attratti i corpi materiali. Di conseguenza, si poteva calcolare che la luce proveniente da una lontana stella fissa, la cui posizione apparente fosse prossima al sole, avrebbe raggiunto la terra da una direzione tale da fare apparire la stella leggermente allontanata dal sole; o, in altre parole, si poteva calcolare che le stelle vicine al sole sarebbero apparse come se si fossero scostate dal sole e anche fra di loro. Si tratta di un fatto che non può essere normalmente osservato, poiché quelle stelle sono rese invisibili durante il giorno dall'eccessivo splendore del sole: nel corso di un'eclissi è tuttavia possibile fotografarle. Se si fotografa la stessa costellazione di notte, è possibile misurare le distanze sulle due fotografie, e controllare così l'effetto previsto.

Ora, la cosa che impressiona in un caso come questo è il *rischio* implicito in una previsione del genere. Se l'osservazione mostra che l'effetto previsto è del tutto assente, allora la teoria risulta semplicemente confutata. Essa è *incompatibile con*

certi possibili risultati dell'osservazione – di fatto, con i risultati che tutti si sarebbero aspettati prima di Einstein. Si tratta di una situazione completamente diversa da quella prima descritta, in cui emergeva che le teorie in questione erano compatibili con i più disparati comportamenti umani, cosicché era praticamente impossibile descrivere un qualsiasi comportamento che non potesse essere considerato come una verifica di tali teorie.

Queste considerazioni mi condussero, nell'inverno 1919-20, alle conclusioni che posso ora riformulare nel modo seguente:

1) è facile ottenere delle conferme, o verifiche, per quasi ogni teoria – se quel che cerchiamo sono appunto delle conferme.

2) Le conferme dovrebbero valere solo se sono il risultato di *previsioni rischiose*; vale a dire, nel caso che, non essendo illuminati dalla teoria in questione, ci saremmo dovuti aspettare un evento incompatibile con essa – un evento che avrebbe confutato la teoria.

3) Ogni teoria scientifica “valida” è una proibizione: essa preclude l'accadimento di certe cose. Quante più cose preclude, tanto migliore essa risulta.

4) Una teoria che non può essere confutata da alcun evento concepibile, non è scientifica. L'inconfutabilità di una teoria non è (come spesso si crede) un pregio, bensì un difetto.

5) Ogni *controllo* genuino di una teoria è un tentativo di falsificarla, o di confutarla. La controllabilità coincide con la falsificabilità; vi sono tuttavia dei gradi di controllabilità: alcune teorie sono controllabili, o esposte alla confutazione, più di altre; esse, per così dire, corrono rischi maggiori.

6) I dati di conferma non dovrebbero contare *se non quando siano il risultato di un controllo genuino della teoria*; e ciò significa che quest'ultimo può essere presentato come un tentativo serio, benché fallito, di falsificare la teoria. In simili casi parlo di “dati corroboranti”.

7) Alcune teorie genuinamente controllabili, dopo che si sono rivelate false, continuano a essere sostenute dai loro fautori – per esempio con l'introduzione, *ad hoc*, di qualche ipotesi ausiliare, o con la reinterpretazione *ad hoc* della teoria, in modo da sottrarla alla confutazione. Una procedura del genere è sempre possibile, ma può salvare la teoria dalla confutazione solo al prezzo di distruggere, o almeno pregiudicare, il suo stato scientifico. [...]

Si può riassumere tutto questo dicendo che *il criterio dello stato scientifico di una teoria è la sua falsificabilità, confutabilità, o controllabilità*.

[...]

Posso esemplificare ciò che ho detto ricorrendo alle diverse teorie fin qui ricordate. La teoria einsteiniana della gravitazione soddisfaceva chiaramente il criterio della falsificabilità. Anche se gli strumenti di misura dell'epoca non consentivano di pronunciarsi con assoluta certezza su risultati dei controlli, sussisteva tuttavia, chiaramente, la possibilità di confutare la teoria.

L'astrologia, invece, non superava il controllo. Gli astrologi erano talmente colpiti, e fuorviati, da quelli che ritenevano dati corroboranti, che restavano del tutto

indifferenti di fronte a qualsiasi prova contraria. Inoltre, rendendo le loro interpretazioni e profezie abbastanza vaghe, erano in grado di eliminare tutto ciò che avrebbe potuto costituire una confutazione della teoria, se quest'ultima e le profezie fossero state più precise. Per evitare la falsificazione delle loro teorie, essi ne distrussero la controllabilità. E' un tipico trucco degli indovini predire gli eventi in modo così vago che difficilmente le predizioni possono risultare false, ed esse diventano per ciò inconfutabili.

La teoria marxista della storia, nonostante i seri tentativi di alcuni dei suoi fondatori e seguaci, finì per adottare questa tecnica divinatoria. In alcune delle sue prime formulazioni, per esempio nell'analisi marxiana della "incombente rivoluzione sociale", le previsioni erano controllabili, e di fatto furono falsificate. Tuttavia, invece di prendere atto delle confutazioni, i seguaci di Marx reinterpretarono sia la teoria sia i dati per farli concordare. In questo modo salvarono la teoria dalla confutazione; ma poterono farlo al prezzo di adottare un espediente che la rendeva inconfutabile. [...] [C]on questo stratagemma eliminarono la [...] conclamata pretesa [...] [della teoria] di possedere uno stato scientifico.

Le due teorie psicanalitiche appartenevano a un genere diverso. Semplicemente non erano controllabili, erano inconfutabili. Non c'era alcun comportamento umano immaginabile che potesse contraddirle. Ciò non significa che Freud e Adler non vedessero correttamente certe cose: personalmente, non ho dubbi che molto di quanto affermarono ha una considerevole importanza, e potrà ben svolgere un ruolo, un giorno, in una scienza psicologica controllabile. Ma questo non significa che le "osservazioni cliniche", che gli analisti ingenuamente consideravano come conferme delle loro teorie, di fatto confermino queste ultime più di quanto facessero le conferme quotidiane riscontrate dagli astrologi nella loro pratica. E, quanto all'epica freudiana dell'Io, del Super-io e dell'Es, non si può avanzare nessuna pretesa a un suo stato scientifico, più fondatamente di quanto lo si possa fare per l'insieme delle favole omeriche dell'Olimpo. Queste teorie descrivono alcuni fatti, ma alla maniera dei miti. Esse contengono suggerimenti psicologici assai interessanti, ma in una forma non suscettibile di controllo.

Nel medesimo tempo, mi resi conto che questi miti potevano essere sviluppati e diventare controllabili; che, da un punto di vista storico, tutte – o quasi tutte – le teorie scientifiche derivano dai miti, e che un mito può contenere importanti anticipazioni delle teorie scientifiche. Esempi al riguardo sono la teoria dell'evoluzione per prova ed errore di Empedocle, o il mito parmenideo dell'universo statico e immutabile in cui non accade nulla e che, se vi aggiungiamo un'altra dimensione, diventa l'universo statico di Einstein, in cui pure non accade mai nulla, in quanto ogni cosa è, dal punto di vista quadridimensionale, determinata e stabilita fin dall'inizio. Compresi così che se si riscontra che una teoria non è scientifica, o che è "metafisica", come potremmo dire, non si stabilisce con ciò che è priva d'importanza, o insignificante, o "priva di significato", oppure "insensata". La teoria non può tuttavia pretendere di essere sostenuta da prove empiriche nel senso scientifico – anche se può certo essere, in una qualche accezione generica, il "risultato di osservazioni".

[...]

Pertanto, il problema che cercai di risolvere proponendo il criterio di falsificabilità, non era né una questione di presenza di significato, o di sensatezza, né riguardava la verità o l'accettabilità. Il problema era quello di tracciare una linea, per quanto possibile, fra le asserzioni, o i sistemi di asserzioni, delle scienze empiriche, e tutte le altre asserzioni – sia di tipo religioso o metafisico, sia, semplicemente, di tipo pseudoscientifico. Alcuni anni dopo – deve essere stato nel 1928 o nel 1929 – denominai questo mio primo problema il *problema della demarcazione*. Il criterio di falsificabilità costituisce una soluzione a questo problema della demarcazione, poiché esso afferma che le asserzioni o i sistemi di asserzioni, per essere ritenuti scientifici, devono poter risultare in conflitto con osservazioni possibili o concepibili.

(K.R. Popper, *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, London, Routledge and Kegan Paul, 1963, 3^a ed.1969; tr. it. di G. Pancaldi, *Congetture e confutazioni. Lo sviluppo della conoscenza scientifica*, Bologna, il Mulino, 1985, pp. 61-71; traduzione leggermente modificata.)

Rudolf Carnap, *Le leggi scientifiche e la loro giustificazione induttiva*

Rudolf Carnap è noto per il carattere tecnico della maggior parte dei suoi scritti nei quali si fa ampio ricorso ai formalismi della logica. Carnap scrisse, però, anche alcuni testi divulgativi, come si può vedere dalle seguenti pagine, tratte dai primi due capitoli di un manuale introduttivo alla filosofia della scienza. Il libro nacque da un seminario sui metodi delle scienze fisiche che Carnap tenne negli anni Quaranta e Cinquanta. L'idea di raccogliere in un libro la sostanza di quel seminario fu suggerita da Martin Gardner, che lo seguì nel 1946 all'Università di Chicago. A Martin Gardner, che divenne poi famoso per la sua rubrica di giochi matematici sulla rivista "Scientific American", si deve anche la cura del libro.

Tanto le osservazioni che compiamo nella vita di ogni giorno quanto quelle più sistematiche della scienza rivelano certe ricorrenze o regolarità nel mondo: il giorno segue sempre alla notte, le stagioni si ripetono nello stesso ordine, il fuoco produce sempre calore, gli oggetti cadono se li lasciamo andare, e così via. Le leggi scientifiche non sono nulla di più che enunciati che esprimono queste regolarità nel modo più preciso possibile.

Se in tutti i luoghi e in tutti i tempi si è osservata senza eccezioni una certa regolarità, questa viene espressa sotto forma di "legge universale". Un esempio tratto dalla vita quotidiana è: "Tutto il ghiaccio è freddo". Questo enunciato asserisce che ogni pezzo di ghiaccio – in qualunque luogo dell'universo e in qualunque istante presente, passato o futuro – è (o era o sarà) freddo. Non tutte le leggi scientifiche, però, sono universali. Invece di asserire che una data regolarità si presenta in *tutti* i casi, alcune leggi affermano che essa si presenta solo in una certa percentuale di casi. Se tale percentuale è indicata, o se in qualche altro modo viene enunciata una proposizione quantitativa sulla relazione di un evento con un altro, allora la proposizione viene chiamata "legge statistica". Ad esempio, "Di solito le mele mature sono rosse", oppure "La metà circa dei bambini nati ogni anno sono maschi", sono leggi statistiche. Nella scienza sono necessari entrambi i tipi di leggi, universali e statistiche.

[...]

Le leggi universali sono espresse nella forma logica di ciò che, in logica formale, viene chiamato un "enunciato condizionale universale". [...] Consideriamo, ad esempio, una legge del tipo più semplice possibile; essa asserisce che, qualunque cosa sia x , se x è P , allora x è anche Q . Ciò viene espresso simbolicamente come segue:

$$(x) (Px \supset Qx).$$

L'espressione "(x)" sulla sinistra, chiamata quantificatore universale, ci dice che l'enunciato si riferisce a *tutti* i casi di x , e non a una percentuale di essi. " Px " dice che x è P e " Qx " che x è Q . Il simbolo " \supset " è un connettivo che collega il termine alla sua sinistra [antecedente] con il termine alla sua destra [conseguente]; tale simbolo corrisponde all'incirca all'espressione italiana "se ... allora".

Se " x " sta per ogni corpo materiale, allora la legge afferma che, per ogni corpo materiale x , se x gode della proprietà P , allora esso gode anche della proprietà Q . In fisica, ad esempio, potremmo dire: "Per ogni corpo x , se quel corpo viene riscaldato, allora esso si dilata". Questa è la legge della dilatazione termica nella sua forma più semplice, non quantitativa [...].

[...]

[Gli] enunciati universali verranno chiamati "leggi", anche se sono così elementari come la legge della dilatazione termica, o ancora di più, come l'enunciato "tutti i corvi sono neri". Non so se questo enunciato è vero, ma, supponendo che lo sia, lo chiamerò una legge della zoologia.

[...]

Più avanti distingueremo due tipi di leggi: le leggi empiriche e le leggi teoriche. Leggi di tipo semplice come quelle che ho appena ricordato sono talvolta chiamate "generalizzazioni empiriche" o "leggi empiriche". Queste leggi sono semplici perché parlano di proprietà, quali il colore nero [...] che possono essere osservate direttamente. La legge della dilatazione termica, ad esempio, è una generalizzazione basata su numerose osservazioni dirette di corpi che si dilatano se riscaldati. Viceversa i concetti teorici, non-osservabili, come, ad esempio, quelli di particella elementare o di campo magnetico, devono essere trattati con leggi teoriche.

[...]

A che cosa servono [le leggi scientifiche]? Che funzioni assolvono nella scienza e nella vita quotidiana? La risposta è duplice: esse vengono usate per *spiegare* fatti già noti e per *prevedere* fatti non ancora noti.

[...]

In base a cosa ci è lecito credere che una legge valga? Sappiamo [...] che tutte le leggi si fondano sull'osservazione di determinate regolarità e, quindi, costituiscono una conoscenza indiretta, in quanto contrapposta alla conoscenza diretta dei fatti. Che cosa giustifica il passaggio che noi operiamo dall'osservazione diretta dei fatti a una legge che esprime determinate regolarità della natura? Ciò costituisce quello che nella terminologia tradizionale viene chiamato "il problema dell'induzione".

[...]

Nella logica deduttiva l'inferenza porta da un insieme di premesse a una conclusione che è altrettanto certa delle premesse: se si ha ragione di credere alle premesse, si hanno ragioni altrettanto valide di credere alla conclusione che segue logicamente da quelle premesse. Se le premesse sono vere, la conclusione non può essere falsa. Nel caso dell'induzione la situazione è completamente diversa: la verità

di una conclusione induttiva non è mai certa. [...] Tutt'al più possiamo dire che, rispetto a date premesse, la conclusione ha un certo grado di probabilità; la logica induttiva ci insegna come calcolare il valore di questa probabilità.⁶

[...]

Una legge intorno al mondo afferma che in ogni caso particolare, in ogni luogo e in ogni tempo, se una cosa è vera, anche un'altra cosa è vera e ciò, evidentemente, riguarda un'infinità di possibili esempi particolari. Gli esempi effettivi non possono essere infiniti, ma si ha un'infinità di esempi possibili. Una legge fisiologica afferma che, se si conficca un pugnale nel cuore di un qualsiasi essere umano, questi muore; poiché non sono state trovate eccezioni, questa legge viene accettata come universale. E' ben vero che il numero di esempi finora osservati di un pugnale conficcato in cuori umani è finito, ed è anche possibile che un giorno l'umanità cessi di esistere, nel qual caso il numero di esseri umani, passati e futuri, è finito. Noi non sappiamo ancora, tuttavia, se l'umanità cesserà di esistere e di conseguenza dobbiamo dire che esiste un'infinità di esempi possibili, ognuno dei quali è compreso nella legge; e, se esiste un'infinità di esempi, nessun numero finito di osservazioni, per quanto grande, può rendere certa una legge "universale".

[...] Anche la legge fisica meglio fondata deve basarsi su un numero finito di osservazioni; è quindi sempre possibile che domani se ne trovi un controesempio. In nessun momento è possibile giungere alla verifica *completa* di una legge. In effetti, noi non dobbiamo nemmeno parlare di "verifica", se con questo termine intendiamo la determinazione definitiva della sua verità, bensì solo di conferma.

E' abbastanza interessante osservare che, malgrado non esista alcun modo di verificare (in senso stretto) una legge, ne esiste uno molto semplice di falsificarla: tutto ciò che occorre è trovare un solo controesempio. La conoscenza di un controesempio può in se stessa essere incerta: possiamo aver commesso un errore di osservazione o esserci in qualche modo ingannati. Ma se supponiamo che il controesempio sia un fatto, ne consegue immediatamente la negazione della legge. Se una legge afferma che ogni oggetto che è *P* è anche *Q* e troviamo un oggetto che è *P*, ma non è *Q*, la legge è confutata: un milione di esempi positivi non sono sufficienti a verificare la legge, mentre basta un controesempio per falsificarla. La situazione è fortemente asimmetrica: è facile confutare una legge, è estremamente difficile trovarne una forte conferma.

In che modo viene confermata una legge? Se abbiamo osservato un gran numero di esempi positivi e nessun esempio negativo, diciamo che la conferma è forte: quanto sia forte, e se la forza possa essere espressa numericamente, è ancor oggi una questione controversa fra i filosofi della scienza [...]. Qui siamo interessati soltanto a rendere chiaro che il primo compito da affrontare, cercando di confermare una legge,

⁶ Nel capitolo 3.2 si è operata una distinzione tra inferenze deduttive e inferenze induttive: si parla di *logica deduttiva* e di *logica induttiva* per indicare, rispettivamente, lo studio sistematico delle inferenze deduttive e di quelle induttive.

è quello di controllare i suoi esempi per determinare se essi sono positivi o negativi [...] Se troviamo un esempio negativo, la questione è risolta; viceversa, ogni esempio positivo costituisce un'ulteriore evidenza che aggiunge forza alla nostra conferma.

Esistono ovviamente diverse regole metodologiche per rendere efficienti i controlli; ad esempio, i vari esempi dovrebbero essere il più possibile eterogenei. Se vogliamo controllare la legge della dilatazione termica, non dobbiamo limitarci a controllare le sostanze solide. Se stiamo controllando la legge secondo la quale tutti i metalli sono buoni conduttori di elettricità, non dobbiamo limitare i nostri controlli a campioni di rame, ma dobbiamo esaminare il comportamento di quanti più metalli è possibile e sotto diverse condizioni, di temperatura ecc. Non discuteremo qui le diverse regole metodologiche per condurre questi controlli: vogliamo solo far osservare che in tutti i casi la legge viene controllata controllando se le previsioni cui essa porta si avverano. In certi casi troviamo in natura gli oggetti che desideriamo sottoporre a controllo, in altri li produciamo noi. Nel controllare la legge della dilatazione termica, ad esempio, non ci interessiamo di oggetti che sono caldi, ma prendiamo certi oggetti e li riscaldiamo. Produrre le condizioni per il controllo offre il grande vantaggio che si può più agevolmente seguire la regola metodologica della eterogeneità; ma sia quando siamo noi a creare le situazioni che devono essere sottoposte a controllo sia quando le troviamo già pronte in natura, lo schema sottostante rimane lo stesso.

(R. Carnap, *Philosophical Foundations of Physics*, a cura di M. Gardner, New York, Basic Books, 1966; tr. it. di G. Carrier, *I fondamenti filosofici della fisica. Introduzione alla filosofia della scienza*, Milano, il Saggiatore, 1981, pp. 13-37; traduzione leggermente modificata.)

Carl Gustav Hempel, *Il ruolo delle leggi nella spiegazione scientifica*

Il filosofo tedesco Carl Gustav Hempel, emigrato negli Stati Uniti dopo l'ascesa al potere del nazismo, fu uno dei più autorevoli esponenti della filosofia della scienza neoempiristica. I suoi scritti, assieme a quelli di Carnap, posero le basi della cosiddetta "concezione standard" che dominò la ricerca epistemologica per circa un trentennio, dagli anni Trenta alla metà degli anni Sessanta. Le pagine che seguono sono tratte dal quinto capitolo di Filosofia delle scienze naturali (Philosophy of Natural Sciences, 1966), uno dei più influenti manuali di filosofia della scienza pubblicati nel secolo scorso.

Spiegare i fenomeni del mondo fisico è uno degli obiettivi principali delle scienze naturali.

[...]

Le spiegazioni scientifiche debbono [...] soddisfare due requisiti sistematici, che verranno denominati "requisito della rilevanza esplicativa" e "requisito della controllabilità".

L'astronomo Francesco Sizi,⁷ allo scopo di mostrare perché, all'opposto di quanto il suo contemporaneo Galileo affermava di aver visto attraverso il suo telescopio, non potevano esservi satelliti ruotanti intorno a Giove, faceva osservare che, come nella testa dell'uomo vi sono sette aperture: due narici, due orecchi, due occhi e una bocca, così nei cieli vi sono due stelle propizie, due sfavorevoli, due corpi luminosi e soltanto Mercurio indeciso e indifferente. Basandosi su questi e su molti altri fenomeni naturali, come l'esistenza dei sette metalli, ecc., che sarebbe tedioso enumerare tutti, egli concludeva che il numero dei pianeti era necessariamente sette. Per di più, i satelliti che Galileo affermava di avere visto erano invisibili a occhio nudo e perciò non potevano avere nessuna influenza sulla terra; sarebbero stati inutili e ne concludeva che quindi non esistevano.

Il difetto decisivo di questo ragionamento è evidente: i "fatti" che esso cita, anche se accettati senza obiezione, sono del tutto irrilevanti per il punto in discussione; essi non forniscono la minima ragione per supporre che Giove non abbia satelliti; la

⁷ Francesco Sizi formulò il suo argomento nel 1611, in un'operetta (*Dianoia astronomica, ottica, physica*) nella quale, fra l'altro, sosteneva che alcune affermazioni di Galileo inficiavano la validità del rito eucaristico: il corpuscolarismo galileiano e la distinzione fra "qualità primarie" e "qualità secondarie" negavano la possibilità della transustanziazione.

pretesa di rilevanza suggerita dallo sbarramento di parole come “perciò”, “ne segue” e “necessariamente” è del tutto spuria.

Consideriamo, invece, la spiegazione fisica di un arcobaleno. Essa mostra che il fenomeno accade quale risultato della riflessione e della rifrazione della luce bianca del sole nelle goccioline sferiche di acqua che sono presenti in una nuvola. Con riferimento alle leggi ottiche rilevanti per il caso specifico, questa spiegazione mostra che ci si deve aspettare l'apparizione di un arcobaleno tutte le volte che una nube di goccioline d'acqua viene illuminata da una violenta luce bianca originata dietro all'osservatore. Così, anche se non ci è mai accaduto di aver visto un arcobaleno, l'informazione esplicativa fornita dalla spiegazione fisica costituirebbe una buona ragione per aspettarsi [...] che apparirà un arcobaleno al verificarsi delle circostanze indicate. Faremo riferimento a questa caratteristica dicendo che la spiegazione fisica soddisfa il *requisito della rilevanza esplicativa*: l'informazione esplicativa addotta fornisce buone ragioni per credere che il fenomeno da spiegare si sia verificato, o si verifichi, effettivamente. [...]

Il requisito rappresenta una condizione necessaria per una spiegazione adeguata, ma non una condizione sufficiente.

[...]

Per introdurre il secondo requisito fondamentale delle spiegazioni scientifiche [cioè quello della controllabilità], consideriamo [...] la concezione dell'attrazione gravitazionale quale manifestazione di una tendenza naturale simile all'amore. [...] Questa concezione non ha implicazioni sperimentali di sorta. Quindi, nessuna scoperta empirica potrebbe assolutamente sostenerla o confutarla. Poiché è vuota di contenuto empirico, tale concezione non fornisce certo buoni motivi per aspettarsi i fenomeni caratteristici dell'attrazione gravitazionale: essa manca di un obiettivo potere di spiegazione.

[...] Al contrario, le asserzioni su cui si fonda la spiegazione fisica di un arcobaleno hanno diverse implicazioni sperimentali; queste riguardano, per esempio, le condizioni in cui un arcobaleno verrà visto nel cielo e l'ordine dei suoi colori; l'apparizione di fenomeni iridescenti negli spruzzi di un'onda che si infrange sugli scogli e nella pioggia artificiale che cade da un annaffiatoio in un prato ecc. Tali esempi illustrano una seconda condizione cui sono soggette le spiegazioni scientifiche, condizione che chiameremo *requisito di controllabilità*: le asserzioni che costituiscono una spiegazione scientifica devono essere suscettibili di controllo empirico.

[...]

Vediamo ora quali forme assumono le spiegazioni scientifiche, e come esse soddisfano i due requisiti fondamentali.

[...]

[Molte spiegazioni possono venir concepite] come argomenti deduttivi, la cui conclusione è l'*explanandum E*, e il cui insieme di premesse, l'*explanans*, è costituito da certe leggi generali L_1, L_2, \dots, L_r e da certi altri enunciati C_1, C_2, \dots, C_k , che affermano qualcosa intorno a fatti particolari. La forma di tali argomenti [...] può venir rappresentata mediante il seguente schema:

<i>Explanans</i>	L_1, L_2, \dots, L_r
	C_1, C_2, \dots, C_k
<i>Explanandum</i>	E

Argomenti esplicativi di questo tipo verranno detti spiegazioni mediante sussunzione deduttiva sotto leggi generali, o *spiegazioni nomologico-deduttive*.⁸ (La radice del termine “nomologico” è la parola greca *nomos*, che significa legge.) Le leggi chiamate in causa in una spiegazione scientifica verranno anche chiamate *leggi rilevanti* per l'*explanandum*, e si dirà che l'argomento esplicativo sussume l'*explanandum* sotto quelle leggi.

[...]

Le spiegazioni nomologico-deduttive soddisfano il requisito della rilevanza esplicativa nel senso più forte possibile: l'informazione esplicativa che esse forniscono implica deduttivamente la proposizione rappresentante l'*explanandum* e offre così delle ragioni logicamente conclusive perché ci si debba aspettare il fenomeno costituente l'*explanandum*. [...] Viene soddisfatto anche il requisito della controllabilità, poiché l'*explanans* implica, fra le altre cose, che, nelle condizioni indicate, ha luogo l'*explanandum*.

Alcune spiegazioni scientifiche si uniformano al modello nomologico-deduttivo in ogni particolare. Questo è vero, specialmente, quando certe caratteristiche quantitative di un certo fenomeno vengono spiegate mediante derivazione matematica da leggi generali rilevanti [...]. [Per esempio,] si prenda la famosa spiegazione, proposta da Leverrier (e, in modo indipendente, da Adams,⁹ di certe peculiari irregolarità del moto del pianeta Urano, le quali, secondo la teoria newtoniana corrente, non potevano essere spiegate mediante l'attrazione gravitazionale degli altri pianeti allora noti. Leverrier suppose che esse fossero il risultato dell'influenza

⁸ Nel linguaggio della logica si parla di *sussunzione* per indicare la riconduzione di determinati concetti o affermazioni nell'ambito di concetti o affermazioni più generali. Parlando di *sussunzione deduttiva sotto leggi generali*, Hempel si riferisce alla circostanza che l'*explanandum* di una spiegazione nomologico-deduttiva costituisce la conclusione di un'inferenza deduttiva (su cui vedi cap. 3.2) che include tra le proprie premesse una o più leggi. La deduzione dell'*explanandum* da una o più leggi è un caso di sussunzione poiché permette di ricondurre l'evento descritto dall'*explanandum* alle regolarità generali descritte dalle leggi.

⁹ Hempel si riferisce qui all'astronomo inglese John Couch Adams (1819-1892) e al matematico francese Urbain Jean Joseph Leverrier (1811-1877). Nel 1846 Adams fu il primo a predire l'esistenza e la posizione di un corpo planetario oltre l'orbita di Urano; tale pianeta sarebbe stato poi battezzato Nettuno. Successivamente gli astronomi tedeschi Johann Gottfried Galle (1812-1910) e Heinrich Louis d'Arrest (1822-1875) confermarono l'esistenza di Nettuno basandosi sui calcoli di Leverrier, compiuti in modo del tutto indipendente da Adams.

gravitazionale di un pianeta esterno non ancora scoperto, e calcolò la posizione, la massa e le altre caratteristiche che quel pianeta avrebbe dovuto possedere per spiegare nei particolari quantitativi le irregolarità osservate. La sua spiegazione fu sorprendentemente confermata dalla scoperta, nel luogo previsto, di un nuovo pianeta, Nettuno, con le caratteristiche quantitative attribuitegli da Leverrier. Anche in questo caso la spiegazione ha il carattere di un argomento deduttivo, le cui premesse comprendono leggi generali – specificamente, le leggi newtoniane della gravitazione e del moto – e asserzioni che stabiliscono diversi particolari quantitativi sul pianeta che costituisce la causa della perturbazione.

Non di rado, comunque, le spiegazioni nomologico-deduttive vengono enunciate in forma ellittica: esse, cioè, non fanno menzione di certe ipotesi presupposte nel processo esplicativo e qui ritenute senz'altro scontate. Tali spiegazioni sono talvolta espresse nella forma “*E perché C*”, in cui *E* è l'evento che deve venir spiegato e *C* è un evento o stato di cose antecedente o concomitante. Prendiamo, per esempio, l'asserzione “la fanghiglia sul marciapiede rimase liquida durante la gelata perché vi era stato sparso del sale”. Questa spiegazione non menziona esplicitamente alcuna legge, ma ne presuppone in modo tacito almeno una: che il punto di congelamento dell'acqua venga abbassato quando vi si sciogla del sale. Infatti, è proprio grazie a questa legge che lo spargimento del sale acquista il ruolo esplicativo e specificamente causale, che l'asserto ellittico contenente l'espressione “perché” gli assegna. L'affermazione considerata, inoltre, risulta ellittica anche sotto altri aspetti: per esempio, essa considera tacitamente valide, senza farne menzione, certe ipotesi riguardanti le condizioni fisiche esistenti, come il fatto che la temperatura non scenda a valori molto bassi. Se all'asserzione che il sale è stato sparso sulla fanghiglia aggiungiamo le ipotesi universali e di altro genere che erano state omesse, otteniamo le premesse per una spiegazione nomologico deduttiva del fatto che la fanghiglia sia rimasta liquida.

[...]

Non tutte le spiegazioni scientifiche si fondano su leggi di forma strettamente universale. Così, il fatto che Giacomo abbia preso il morbillo potrebbe venire spiegato dicendo che egli ha preso la malattia da suo fratello, che alcuni giorni prima presentava un brutto caso di morbillo. Questa spiegazione collega a sua volta l'*explanandum* a un fatto precedente, al fatto che Giacomo si sia esposto al contagio; si dice che questo fatto fornisce una spiegazione, perché vi è una connessione fra l'esposizione al contagio e il fatto di prendere la malattia. Questa connessione non può venir espressa, comunque, mediante una legge di forma universale, perché non sempre l'esposizione al morbillo produce il contagio. Ciò che si può affermare è soltanto che le persone esposte al morbillo contrarranno la malattia con un alto grado di probabilità, cioè in un'alta percentuale di casi. Asserzioni generali di questo tipo [...] verranno dette *leggi di forma probabilistica* o, per brevità, *leggi probabilistiche*.

Nel nostro esempio, allora, l'*explanans* consiste della legge probabilistica sopra citata e dell'asserzione che Giacomo sia stato esposto al morbillo. A differenza del caso della spiegazione nomologico-deduttiva, queste asserzioni che fungono da

explanans non implicano deduttivamente l'*explanandum* che Giacomo abbia preso il morbillo; infatti, nelle inferenze deduttive da premesse vere, la conclusione è inevitabilmente vera, mentre nel nostro esempio è chiaramente possibile che l'*explanans* sia vero e, nondimeno, l'*explanandum* risulti falso. Diremo, per brevità, che l'*explanans* implica l'*explanandum*, non con "certezza deduttiva", bensì soltanto con una "quasi certezza" o con un alto grado di probabilità.

L'argomento esplicativo risultante può venire schematizzato in questo modo:

La probabilità, per una persona che si esponga al morbillo, di prendere la malattia, è alta.

Giacomo è stato esposto al morbillo.

[con alto grado di probabilità]

Giacomo ha preso il morbillo.

[...] Nel precedente schema di spiegazione nomologico-deduttiva, la conclusione era separata dalle premesse da una sola linea, che sta a indicare che le premesse implicano logicamente la conclusione. La doppia linea usata nel nostro ultimo schema indica, in modo analogo, che le "premesse" (l'*explanans*) rendono la "conclusione" (l'*explanandum*) più o meno probabile; il grado di probabilità è suggerito dall'espressione tra parentesi quadre.

Argomenti di questo genere verranno chiamati *spiegazioni probabilistiche*. Come la nostra discussione rivela, la spiegazione probabilistica di un evento particolare condivide certe caratteristiche fondamentali con il corrispondente tipo di spiegazione nomologico-deduttiva. In entrambi i casi, un dato evento viene spiegato facendo riferimento ad altri eventi, con i quali l'*explanandum* è connesso mediante leggi. Ma in un caso le leggi sono di forma universale, nell'altro hanno forma probabilistica. E, mentre una spiegazione deduttiva mostra che, in base all'informazione contenuta nell'*explanans*, ci si poteva attendere l'*explanandum* con "certezza deduttiva", una spiegazione induttiva mostra soltanto che, in base all'informazione contenuta nell'*explanans*, ci si doveva aspettare l'*explanandum* con alto grado di probabilità [...].¹⁰ E' in questo modo che [una spiegazione induttiva] soddisfa il requisito della rilevanza esplicativa.

(C.G. Hempel, *Philosophy of Natural Sciences*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1966; tr. it. di A. Berra, *Filosofia delle scienze naturali*, 2^a ed. it., Bologna, il Mulino, 1980, pp. 77-94; traduzione leggermente modificata.)

¹⁰ Parlando di *spiegazioni induttive*, Hempel si riferisce a quelle che nel cap. 4.2 vengono chiamate *spiegazioni probabilistiche* (o anche *spiegazioni statistico-induttive* o *spiegazioni SI*), cioè alle spiegazioni nelle quali l'*explanandum* viene inferito induttivamente da una o più leggi statistiche assieme alle condizioni iniziali (sulla nozione di *inferenza induttiva* vedi cap. 3.2).

Thomas Kuhn, *Scienza normale, paradigmi e rivoluzioni scientifiche*

*Dopo aver cominciato la sua carriera come fisico, lo studioso americano Thomas Kuhn ha condotto la maggior parte delle proprie ricerche su argomenti di storia della scienza. Kuhn è noto soprattutto per il volume *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (1962, 2ª ed. 1970) che ha avuto un gran numero di lettori, anche fuori del ristretto ambito degli storici e dei filosofi della scienza. Il volume, dal quale sono tratte le pagine che seguono, ha avuto un enorme impatto sulla filosofia della scienza, al punto che la pubblicazione della prima edizione, nel 1962, viene considerata uno spartiacque che segna il passaggio dalla filosofia della scienza neoempiristica alle epistemologie postpositivistiche.*

In questo saggio “scienza normale” significa una ricerca stabilmente fondata su uno o più risultati raggiunti dalla scienza del passato, ai quali una particolare comunità scientifica, per un certo periodo di tempo, riconosce la capacità di costituire il fondamento della sua prassi ulteriore. Oggi tali punti fermi sono elencati, seppure raramente nella loro forma originale, dai manuali scientifici sia elementari che superiori. Questi manuali espongono il corpo della teoria riconosciuta come valida, illustrano molte o tutte le sue applicazioni coronate da successo e confrontano queste applicazioni con osservazioni ed esperimenti esemplari.

[...]

D’ora in avanti, per indicare i risultati che hanno in comune queste caratteristiche, userò il termine “paradigmi”, che ha una precisa relazione col termine “scienza normale”. Con la scelta di questo termine ho voluto far presente il fatto che alcuni esempi di effettiva prassi scientifica riconosciuti come validi – esempi che includono globalmente leggi, teorie, applicazioni e strumenti – forniscono modelli che danno origine a particolari tradizioni di ricerca scientifica con una loro coerenza. Queste sono le tradizioni che lo storico descrive con etichette quali “astronomia tolemaica” (o “copernicana”), “dinamica aristotelica” (o “newtoniana”), “ottica corpuscolare” (o “ottica ondulatoria”), e così via. Lo studio dei paradigmi [...] è ciò che principalmente prepara lo studente a diventare membro della particolare comunità scientifica con la quale dovrà più tardi collaborare. Dal momento che in tale comunità egli incontra scienziati che appresero i fondamenti della loro disciplina dagli stessi modelli concreti, la sua attività successiva raramente susciterà un aperto disaccordo riguardo ai principi fondamentali. Coloro la cui ricerca si basa sui paradigmi condivisi dalla comunità scientifica si impegnano a osservare le stesse regole e gli stessi modelli nella loro attività scientifica. Questo impegno e l’evidente consenso che esso produce, sono

requisiti indispensabili per una scienza normale, ossia per la genesi e per il mantenimento di una particolare tradizione di ricerca.

[...]

Allorché, nel corso dello sviluppo di una scienza naturale, un individuo o un gruppo costruiscono per la prima volta una sintesi capace di attrarre la maggior parte dei ricercatori della generazione successiva, le vecchie scuole gradualmente scompaiono. La loro scomparsa è in parte causata dalla conversione dei loro membri al nuovo paradigma. Ma vi sono sempre alcuni che rimangono attaccati all'una o all'altra delle vecchie concezioni; essi potranno essere conosciuti negli ambienti esterni alla loro disciplina, mentre nel loro campo la loro opera da quel momento in poi viene ignorata.

[...]

Quando il singolo scienziato può accettare un paradigma come vero non ha più bisogno, nelle sue opere più importanti, di tentare di ricostruire il suo campo dai fondamenti, cominciando dai primi principi e giustificano l'uso di ogni concetto introdotto. Questo compito può essere lasciato al compilatore di manuali. Dato un manuale, però, lo scienziato creativo può cominciare la sua ricerca dal punto in cui quello finisce e concentrarsi così esclusivamente sugli aspetti più sottili e complessi dei fenomeni naturali che interessano il suo gruppo.

[...]

I paradigmi raggiungono la loro posizione perché riescono meglio dei loro competitori a risolvere alcuni problemi che il gruppo degli specialisti ha riconosciuto come urgenti. Riuscire meglio, però, non significa riuscire completamente per quanto riguarda un unico problema o riuscire abbastanza bene per moltissimi problemi. Il successo di un paradigma[...] è all'inizio, in gran parte, una promessa di successo che si può intravedere in alcuni esempi scelti e ancora incompleti. La scienza normale consiste nella realizzazione di quella promessa, una realizzazione ottenuta estendendo la conoscenza di quei fatti che il paradigma indica come particolarmente rivelatori, accrescendo la misura in cui questi fatti si accordano con le previsioni del paradigma, e articolando ulteriormente il paradigma stesso.

Pochi tra coloro che non siano effettivamente impegnati nell'attività di una scienza matura si rendono conto di quanto lavoro di ripulitura di tal genere resti da fare dopo l'accettazione di un paradigma, o di quanto affascinante possa essere l'esecuzione di un simile lavoro. E questi punti devono essere chiaramente capiti. Le operazioni di ripulitura costituiscono l'attività che impegna la maggior parte degli scienziati nel corso di tutta la loro carriera. Esse costituiscono quella che qui chiamo la scienza normale. Un'attività di tal genere, se esaminata da vicino, sia come è stata fatta nel corso della storia, sia come è condotta nei laboratori contemporanei, si presenta come un tentativo di forzare la natura entro le caselle prefabbricate e relativamente rigide fornite dal paradigma. Il compito della scienza normale non è affatto quello di scoprire nuovi generi di fenomeni; anzi, spesso sfuggono completamente quelli che non si potrebbero adattare all'incasellamento. Gli scienziati non mirano neanche, di norma, a inventare nuove teorie, e anzi si mostrano spesso intolleranti verso quelle inventate

da altri. La ricerca nell'ambito della scienza normale è invece rivolta all'articolazione di quei fenomeni e di quelle teorie che sono già fornite dal paradigma.

Questi sono forse difetti. L'area di ricerca in cui opera la scienza normale è, naturalmente, molto ristretta; l'impresa che ora stiamo discutendo ha una visuale drasticamente limitata. Ma quelle restrizioni, prodotte dalla fiducia in un paradigma, si rivelano essenziali allo sviluppo della scienza. Concentrando l'attenzione su un ambito ristretto di problemi relativamente esoterici, il paradigma costringe gli scienziati a studiare una parte della natura in modo così particolareggiato e approfondito che sarebbe altrimenti inimmaginabile. D'altra parte, la scienza normale possiede un meccanismo interno che assicura il rilassamento delle restrizioni che vincolano la ricerca: ogniqualvolta il paradigma da cui quelle derivano cessa di funzionare efficacemente. In quel momento gli scienziati cominciano ad assumere un differente comportamento, e cambia la natura dei problemi della loro ricerca. Nel frattempo, però, durante il periodo in cui il paradigma ha successo, la comunità degli specialisti avrà risolto problemi che i suoi membri avrebbero difficilmente immaginato e non avrebbero mai affrontato se non si fossero appoggiati al paradigma. E sempre, almeno una parte dei risultati ottenuti si mostrano permanenti.

[...]

Che cosa sono le rivoluzioni scientifiche? [...] Consideriamo [...] rivoluzioni scientifiche quegli episodi di sviluppo non cumulativi, nei quali un vecchio paradigma è sostituito, completamente o in parte, da uno nuovo incompatibile con quello. [...] Perché un mutamento di paradigma dovrebbe essere chiamato rivoluzione? Considerando le vaste ed essenziali differenze esistenti tra lo sviluppo scientifico e quello sociale, quale analogia può giustificare l'uso della medesima metafora secondo cui avvengono rivoluzioni sia nell'uno che nell'altro campo?

Un aspetto dell'analogia dovrebbe già essere evidente. Le rivoluzioni politiche sono introdotte da una sensazione sempre più forte, spesso avvertita solo da un settore della società, che le istituzioni esistenti hanno cessato di costituire una risposta adeguata ai problemi posti da una situazione che esse stesse hanno in parte contribuito a creare. In una maniera più o meno identica, le rivoluzioni scientifiche sono introdotte da una sensazione crescente, anche questa volta avvertita solo da un settore ristretto della comunità scientifica, che un paradigma esistente ha cessato di funzionare adeguatamente nella esplorazione di un aspetto della natura verso il quale quello stesso paradigma aveva precedentemente spianato la strada. Sia nello sviluppo sociale che in quello scientifico, la sensazione di cattivo funzionamento che può portare a una crisi è un requisito preliminare di ogni rivoluzione.

[...]

Questo aspetto genetico dell'analogia tra sviluppo sociale e sviluppo scientifico non dovrebbe ormai più suscitare dubbi. L'analogia, però, ha un secondo e più profondo aspetto da cui dipende il significato del primo. Le rivoluzioni politiche mirano a mutare le istituzioni politiche in forme che sono proibite da quelle stesse istituzioni. Il loro successo richiede perciò l'abbandono parziale di un insieme di istituzioni a favore di altre, e nel frattempo la società cessa completamente di essere governata da

istituzioni. All'inizio [la rivoluzione] è soltanto una crisi che indebolisce il ruolo delle istituzioni politiche [...]. In numero sempre maggiore gli individui si allontanano sempre più dalla vita politica ufficiale e si comportano in modo sempre più indipendente. Quindi, con l'approfondirsi della crisi, parecchi di questi individui si riuniscono intorno a qualche proposta concreta per la ricostruzione della società in una nuova struttura istituzionale. A questo punto la società è divisa in campi o partiti avversi, l'uno impegnato nel tentativo di difendere la vecchia struttura istituzionale, gli altri impegnati nel tentativo di istituire una nuova. E una volta che tale polarizzazione si è verificata, *la lotta puramente politica non serve più*. Siccome differiscono circa la matrice istituzionale all'interno della quale va raggiunto e valutato il cambiamento politico, e siccome non riconoscono nessuna struttura che stia al di sopra delle istituzioni, alla quale possano riferirsi per giudicare della differenza rivoluzionaria, i partiti impegnati in un conflitto rivoluzionario devono alla fine far ricorso alle tecniche della persuasione di massa, che spesso includono la forza. Sebbene le rivoluzioni abbiano avuto un ruolo vitale nello sviluppo delle istituzioni politiche, questo ruolo dipende dal fatto che esse sono eventi in parte extrapolitici o extraistituzionali.

[...] Lo studio del mutamento di paradigmi mette in evidenza che caratteristiche simili sono presenti nello sviluppo delle scienze. Analogamente alla scelta tra istituzioni politiche contrastanti, la scelta tra paradigmi contrastanti dimostra di essere una scelta tra forme incompatibili di vita sociale. Poiché ha questo carattere, la scelta non è, e non può essere determinata esclusivamente dai procedimenti di valutazione propri della scienza normale, poiché questi dipendono in parte da un particolare paradigma, e questo paradigma è ciò che viene messo in discussione. Quando i paradigmi entrano, come necessariamente devono entrare, in un dibattito sulla scelta di un paradigma, il loro ruolo è necessariamente circolare. Ciascun gruppo usa il proprio paradigma per argomentare in difesa di quel paradigma.

La circolarità che ne risulta, naturalmente, non rende sbagliate o inefficaci le argomentazioni. Colui che premette un paradigma quando discute per difenderlo, può nondimeno fornire un chiaro esempio di quella che sarà la prassi scientifica per coloro che adotteranno il nuovo modo di vedere la natura. Un esempio di questo genere può essere immensamente persuasivo, e spesso convincente. Tuttavia, quale che sia la sua forza, lo *status* dell'argomentazione circolare è soltanto quello della persuasione. Esso non può essere reso logicamente o probabilisticamente convincente per coloro che rifiutano di inserirsi nel circolo. Le premesse e i valori comuni a entrambi i partiti impegnati nel dibattito sui paradigmi non sono sufficientemente estesi per avere questo effetto. Tanto nelle rivoluzioni politiche come nella scelta dei paradigmi, non v'è nessun criterio superiore al consenso della popolazione interessata. Per scoprire in che modo vengano effettuate le rivoluzioni scientifiche, dovremo perciò esaminare non solo la corrispondenza con la natura e con la logica, ma anche le tecniche di persuasione che hanno efficacia entro i gruppi abbastanza specifici che costituiscono la comunità scientifica.

(T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, The University of Chicago Press, 1962, 2^a ed. 1970; tr. it. della 1^a ed. di A. Carugo, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1969, pp. 29-40, 43-45 e 119-122; traduzione leggermente modificata.)

Gaston Bachelard, *La nozione di ostacolo epistemologico*

Laureatosi in scienze matematiche e poi in filosofia, Bachelard pubblicò le sue prime opere epistemologiche tra il 1928 e il 1929. Dal 1930 al 1940 venne chiamato a insegnare Filosofia alla Facoltà di Lettere dell'Università di Digione. In questo periodo scrisse la maggior parte dei suoi libri di contenuto epistemologico, tra i quali La formazione dello spirito scientifico (La formation de l'esprit scientifique, 1938), dove viene introdotta la nozione di ostacolo epistemologico. Quelle che seguono sono alcune tra le pagine più note di Bachelard, tratte dal volume appena menzionato.

Quando si ricercano le condizioni psicologiche del progresso scientifico, si giunge ben presto alla convinzione che *dobbiamo porre il problema della conoscenza scientifica in termini di ostacoli*. E non si tratta di considerare ostacoli esterni come la complessità e la fugacità dei fenomeni, né di incriminare la debolezza dei sensi e dello spirito umano; lentezze e disfunzioni appaiono, per una sorta di necessità funzionale, all'interno stesso dell'atto conoscitivo. E' qui che mostreremo cause di stagnazione e persino di regressione della scienza, è qui che scopriremo quelle cause d'inerzia che chiameremo ostacoli epistemologici. La conoscenza del reale è una luce che proietta sempre da qualche parte delle ombre. Essa non è mai immediata e piena. Le rivelazioni del reale sono sempre ricorrenti. Il reale non è mai "ciò che si potrebbe credere" ma è ciò che si sarebbe dovuto pensare. Il pensiero empirico è chiaro *a cose fatte*, quando l'apparato delle ragioni è stato messo a punto. Ritornando su un passato di errori, si trova la verità in un autentico pentimento intellettuale. Infatti, si conosce *contro* una conoscenza anteriore, distruggendo conoscenze mal fatte, superando ciò che, all'interno dello stesso spirito fa ostacolo alla spiritualizzazione.

[...]

Di fronte al reale, ciò che si crede di sapere chiaramente offusca ciò che si dovrebbe sapere. Quando si presenta alla cultura scientifica, lo spirito non è mai giovane. E' anzi molto vecchio, perché ha l'età dei suoi pregiudizi. Accedere alla scienza vuol dire, spiritualmente, ringiovanire, vuol dire accettare una brusca mutazione che deve contraddire il passato.

La scienza, per il suo bisogno di compiutezza e per motivi di principio, si oppone assolutamente all'opinione. Se le capita di legittimare, su un punto particolare, l'opinione, ciò avviene per ragioni diverse da quelle che fondano l'opinione; di modo che l'opinione ha, di diritto, sempre torto. L'opinione *pensa male*; essa non *pensa: traduce* bisogni in conoscenze. Designando gli oggetti secondo la loro utilità, s'impedisce di conoscerli. Non si può fondare niente sull'opinione: bisogna anzitutto distruggerla. E' il primo ostacolo da superare. Non basterebbe, ad esempio, rettificarla su punti particolari, mantenendo, con una sorta di morale provvisoria, una conoscenza

volgare provvisoria. Lo spirito scientifico ci vieta di avere opinioni su questioni che non comprendiamo, su questioni che non sappiamo formulare chiaramente. Prima di tutto, bisogna saper porre problemi. E, checché se ne dica, nella vita scientifica i problemi non si pongono da se stessi. E' per l'appunto questo *senso del problema* che dà il tratto distintivo del vero spirito scientifico. Per uno spirito scientifico, ogni conoscenza è una risposta a una domanda. Se non c'è stata domanda, non può esserci conoscenza scientifica. Niente va da sé. Niente è dato. Tutto è costruito.

Anche una conoscenza acquisita con uno sforzo scientifico può tramontare. La domanda astratta e genuina si logora: la risposta concreta resta. Da quel momento, l'attività spirituale cambia direzione e si blocca. Un ostacolo epistemologico s'incrosta sulla conoscenza non problematizzata. Abitudini intellettuali che furono utili e sane possono, alla lunga, ostacolare la ricerca. "Il nostro spirito, dice giustamente Bergson, ha un'irresistibile tendenza a ritenere più chiara l'idea che gli serve più spesso."¹¹ L'idea acquista in tal modo una chiarezza intrinseca abusiva. Con l'uso, le idee si *valorizzano* indebitamente. [...] Talvolta un'idea dominante polarizza uno spirito nella sua totalità. Un epistemologo irriverente diceva [...] che i grandi uomini sono utili alla scienza nella prima metà della loro vita, nocivi nella seconda metà. [...] Viene un momento in cui lo spirito ama più ciò che conferma il proprio sapere a ciò che lo contraddice, più le risposte che le domande. Allora l'istinto conservativo domina e la crescita spirituale si ferma.

[...]

La nozione di *ostacolo epistemologico* può essere studiata nello sviluppo storico del pensiero scientifico e nella pratica dell'educazione. Nell'uno e nell'altro caso, questo studio non è agevole. La storia, nel suo principio, è in effetti ostile a ogni giudizio normativo. Eppure, bisogna collocarsi all'interno di un punto di vista normativo, se si vuole giudicare l'efficacia di un pensiero. Tutto ciò che si trova nella storia del pensiero scientifico è ben lungi dal servire effettivamente all'evoluzione di questo pensiero. Certe conoscenze anche giuste bloccano troppo presto ricerche utili. L'epistemologo deve perciò selezionare i documenti raccolti dallo storico. Deve giudicarli dal punto di vista della ragione, anzi dal punto di vista della ragione evoluta, perché soltanto a partire dal presente possiamo giudicare gli errori del passato spirituale. [...] Si può vedere da qui ciò che distingue il mestiere dell'epistemologo da quello dello storico delle scienze. Lo storico delle scienze deve considerare i fatti come se fossero idee, inserendoli in un sistema di pensieri. Un fatto male interpretato da un'epoca resta un *fatto* per lo storico. Secondo l'ottica dell'epistemologo è un *ostacolo*, è un contro-pensiero.

[...]

Nell'educazione, la nozione di ostacolo pedagogico, è ugualmente misconosciuta. Sono stato spesso colpito dal fatto che i professori di scienza, se è possibile ancora

¹¹ La citazione di Henri Bergson è tratta dalla raccolta di saggi e conferenze *La pensée et le mouvant (Il pensiero e il movimento)*, 1934).

più degli altri, non comprendono il fatto che non si comprenda. Poco numerosi sono coloro che hanno approfondito la psicologia dell'errore, dell'ignoranza e della mancanza di riflessione. [...] I professori di scienza immaginano [...] che si possa fare comprendere una dimostrazione ripetendola punto per punto. Non hanno riflettuto sul fatto che l'adolescente arriva alle lezioni di fisica con conoscenze empiriche già costituite: perciò non si tratta tanto di *acquisire* una cultura sperimentale quando di *cambiare* cultura sperimentale e di abbattere gli ostacoli già accumulati nella vita quotidiana. Basta un solo esempio: l'equilibrio dei corpi galleggianti è l'oggetto di una intuizione familiare tutta intessuta di errori. In modo più o meno chiaro, si attribuisce un'attività al corpo che galleggia, o meglio al corpo che *nuota*. Se si cerca di affondare con la mano un pezzo di legno che si trova in acqua, si vede che resiste. Non si attribuisce facilmente la resistenza all'acqua. E' perciò abbastanza difficile fare comprendere il principio di Archimede nella sua stupenda semplicità matematica, se anzitutto non si è criticato e disorganizzato il complesso impuro delle intuizioni primitive. In particolare, senza questa psicanalisi degli errori iniziali, non si farà mai comprendere che il corpo che emerge e il corpo completamente immerso obbediscono alla stessa legge.

G. Bachelard, *Epistemologie. Textes choisis*, a cura di D. Lecourt, Paris, Presses Universitaires de France, 1971; tr. it. di F. Lo Piparo, *Epistemologia. Antologia di scritti filosofici*, Bari, Laterza, 1975, pp. 161-165; traduzione leggermente modificata.)