

11. Positivismo matematico e convenzionalismo

<i>Il positivismo matematico di Berkeley</i>	155
<i>Mach e la riformulazione della meccanica</i>	157
<i>La logica della disconferma secondo Duhem</i>	159
<i>Il convenzionalismo di Poincaré</i>	161
I DUE IMPIEGHI DELLE LEGGI DELLA MECCANICA	161
LA SCELTA DI UNA GEOMETRIA PER DESCRIVERE LO "SPAZIO FISICO"	163
<i>Popper e la falsificabilità come criterio del metodo empirico</i>	164

GEORGE BERKELEY (1685-1753) nacque in Irlanda da una famiglia inglese. Compì i suoi studi al Trinity College di Dublino, presso il quale in seguito insegnò. Devoto anglicano, Berkeley fu nominato diacono di Derry nel 1724. Qualche tempo dopo cercò di fondare un collegio a Bermuda, progetto che fallì per mancanza di fondi. Nel 1734 assunse l'incarico di vescovo di Cloyne. La filosofia antimaterialista di Berkeley è esposta nel *Trattato sui principi della conoscenza umana* (1710) e nei *Tre dialoghi tra Hylas e Philonous* (1713). I suoi scritti successivi comprendono *The Analyst* (L'analitico, 1734), una critica della versione newtoniana del calcolo differenziale, e il *De Motu* (Sul movimento, 1721), una critica positivista della fisica di Newton.

ERNST MACH (1838-1916), fisico, studiò a Vienna e fornì contributi nel campo della meccanica, dell'acustica, della termodinamica e della psicologia sperimentale, oltre che nell'ambito della filosofia della scienza. Promosse una crociata contro l'intrusione delle interpretazioni "metafisiche" in fisica. Contro il punto di vista secondo cui la scienza dovrebbe cercare di descrivere qualche "realtà oggettiva", per esempio gli atomi, dietro le apparenze, Mach sosteneva che la scienza dovrebbe puntare a una descrizione economica delle relazioni tra i fenomeni.

HENRI POINCARÉ (1854-1912) nacque a Nancy da una famiglia illustre. Suo cugino Raymond fu presidente della Repubblica durante la Prima guerra mondiale. Poincaré studiò all'École des Mines per diventare ingegnere minerario, ma nel corso degli studi i suoi interessi si

rivolsero alla matematica pura e applicata. Dopo un breve periodo all'Università di Caen, fu chiamato alla facoltà di matematica dell'Università di Parigi (1881). Poincaré diede importanti contributi alla matematica pura e alla meccanica celeste. Il suo articolo del 1906 sull'elettromagnetismo anticipò alcuni dei risultati raggiunti da Einstein con la teoria della relatività ristretta. Gli scritti di Poincaré sulla filosofia della scienza (*La scienza e l'ipotesi*, del 1902 e *Il valore della scienza*, del 1905) sottolineano il ruolo delle convenzioni nella formulazione delle teorie scientifiche.

KARL R. POPPER (1902-1994) è stato professore di logica e metodo scientifico alla London School of Economics. Nel suo importante saggio *Logica della scoperta scientifica* (l'edizione tedesca è del 1934, quella inglese del 1959), Popper criticò il tentativo del Circolo di Vienna di formulare un criterio di significato empirico per le asserzioni, e propose invece che la scienza empirica venisse demarcata dalla pseudoscienza con un criterio che prendesse in considerazione la metodologia utilizzata. Popper riconfermò e sviluppò queste tesi in *Congetture e confutazioni* (1963). Durante la Seconda guerra mondiale pubblicò *La società aperta e i suoi nemici*, un attacco a Platone, Hegel, Marx e a tutti i pensatori che avrebbero voluto imporre alla storia leggi inflessibili.

Il positivismo matematico di Berkeley

Uno dei primi critici della filosofia della scienza newtoniana fu George Berkeley, un pensatore che era assurdo a una certa notorietà per avere avanzato alcune argomentazioni volte a dimostrare che le "sostanze materiali" non esistono. Nella sua critica, Berkeley accusò Newton di non riuscire a tenere conto dei suoi stessi avvertimenti. Newton infatti aveva rilevato che una cosa è formulare correlazioni matematiche che riguardano le forze, e una cosa completamente diversa è scoprire che cosa le forze siano "in se stesse". Berkeley riteneva che Newton avesse avuto ragione a distinguere le sue teorie matematiche sulla rifrazione e la gravitazione da qualsiasi ipotesi sulla "reale natura" della luce e della gravità; quello che però lo disturbava era che l'autore dei *Principia*, con il pretesto di formulare "quesiti", parlava delle forze come se fossero qualcosa di più che termini in equazioni. Berkeley affermava che le "forze" in meccanica erano analoghe agli epicicli in astronomia, vale a dire costruzioni matematiche utili per calcolare i moti dei corpi. Tuttavia, secondo Berkeley, sarebbe stato un errore attribuire a queste costruzioni un'esistenza reale nel mondo.

Berkeley affermava che tutto il contenuto della meccanica newtoniana è espresso da un insieme di equazioni, integrate dall'affermazione secondo cui i corpi non si muovono da soli. Berkeley era pienamente disposto ad accogliere la pretesa di Newton secondo cui i corpi non hanno il potere di muoversi da sé: nel contempo però avvertiva che i riferimenti di Newton alle "forze d'attrazione", alle "forze di coesione" e alle "forze di dissoluzione" si prestano a fuorviare il lettore. Queste "forze" altro non sono che entità matematiche. Berkeley dichiarò che

le entità matematiche non hanno una stabile essenza nella natura delle cose; e esse dipendono dalla nozione del definiente; per cui la medesima cosa può essere spiegata in diverso modo.¹

Così facendo, Berkeley propugnava una concezione strumentalista delle leggi della meccanica; riteneva che queste leggi non siano altro che dispositivi di calcolo per la descrizione e la previsione dei fenomeni, e ribadiva che né i termini che compaiono nelle leggi né le dipendenze funzionali espresse dalle leggi stesse debbono essere riferiti a qualcosa che esista in natura. In particolare Berkeley rilevava che non abbiamo alcuna conoscenza degli oggetti a cui si riferiscono termini quali "forza d'attrazione", "azione" e "impulso". Noi sappiamo soltanto che, in determinate condizioni, i singoli corpi si muovono in certi modi. Cionondimeno, Berkeley ammetteva che termini quali "forza d'attrazione" e "impulso" hanno un'utilizzazione importante in meccanica, in virtù del fatto che compaiono in teorie che ci consentono di predire sequenze di eventi.

Berkeley si opponeva a quella concezione che paragona la scienza alla cartografia. Le leggi e le teorie scientifiche non sono come carte geografiche; in una carta geografica, ogni indicazione designa una caratteristica del terreno, e l'adeguatezza della rappresentazione fornita dalla carta geografica, inoltre, può essere accertata in maniera ragionevolmente semplice e immediata. Questo tuttavia non accade con alcuna teoria scientifica: infatti non si può dire che ogni termine di una teoria designi un oggetto, una proprietà o una relazione nell'universo conoscibile in maniera indipendente.

L'accentuazione strumentalista di Berkeley è coerente con la sua tesi metafisica secondo cui l'universo contiene soltanto due generi di entità, idee e intelletti, e anzi forse è derivata da essa. La sua enunciazione sintetica di questa posizione è che «essere è percepire o essere percepiti». Sulla base di questo punto di vista, gli intelletti sono i soli agenti causali. Le forze non possono essere efficaci sotto il profilo causale.

Inoltre, secondo Berkeley, non è possibile stabilire alcuna distinzione tra "qualità primarie", che sono proprietà oggettive dei corpi, e "qualità secondarie", che esistono solo nell'esperienza percettiva del soggetto. Galilei, Cartesio e Newton avevano accettato la distinzione tra qualità primarie e qualità secondarie, e avevano sostenuto che estensione, posizione e moto sono qualità primarie. Berkeley, comunque, negava che vi fossero qualità primarie dei corpi, e ribadiva che estensione e moto sono qualità sensibili assolutamente sullo stesso piano di calore e luminosità. Qualsiasi cognizione abbiamo riguardo all'estensione e al moto dei corpi ci è data nella nostra esperienza percettiva.

Berkeley riteneva che non abbia senso parlare, come aveva fatto Newton, di movimenti nello spazio assoluto. Lo spazio non è qualcosa che esiste a prescindere o indipendentemente dalla nostra percezione dei corpi. Inoltre, rilevava che se nello spazio non vi fossero corpi, allora non vi sarebbe alcun modo di fissare degli inter-

valli spaziali. Perciò concludeva che se in questa situazione non è possibile fissare gli intervalli spaziali, è anche privo di senso parlare di uno "spazio" vuoto di qualsiasi corpo.

Berkeley, inoltre, rilevava che se tutti i corpi tranne uno fossero annientati, allora non si potrebbe attribuire alcun moto a questo corpo. Questo perché ogni moto è relativo. Parlare del moto di un corpo significa parlare delle sue mutevoli relazioni con altri corpi. Il moto di un unico corpo all'interno di uno spazio assoluto è inconcepibile.

Nemmeno l'esperimento del secchio, ideato da Newton, stabilisce l'esistenza dello spazio assoluto. Berkeley osservava infatti giustamente che il moto dell'acqua nel secchio non è un "moto veramente circolare", in quanto esso è composto non solo dal moto del secchio, ma anche dalla rotazione e rivoluzione della Terra intorno al Sole. Berkeley era pervenuto così alla conclusione che questo moto, descritto da Newton come rotazione rispetto allo spazio assoluto, può essere riferito invece ai corpi nell'universo diversi dal secchio stesso.²

Nell'applicazione della sua teoria della meccanica, Newton era stato costretto a sostituire alle distanze nello spazio assoluto gli intervalli spaziali relativi. Berkeley sosteneva che i riferimenti di Newton ai moti nello spazio assoluto avrebbero potuto essere eliminati dalla fisica senza impoverire in alcun modo tale disciplina. Affermava che, mentre la "forza d'attrazione" e l'"impulso" sono utili invenzioni matematiche, lo "spazio assoluto" è un'invenzione inutile e dovrebbe essere eliminata dalla fisica, e raccomandava di considerare le stelle fisse quali punti che definiscono il quadro di riferimento per la descrizione dei moti.

Mach e la riformulazione della meccanica

Nella seconda metà del XIX secolo, Ernst Mach elaborò una critica della filosofia della scienza newtoniana sorprendentemente simile a quella formulata da Berkeley. Mach condivideva la concezione strumentalista di Berkeley delle leggi e delle teorie scientifiche, e dichiarava che «tutta la scienza ha lo scopo di sostituire, ossia di *economizzare* esperienze mediante la riproduzione e l'anticipazione di fatti nel pensiero».³

Secondo Mach, le leggi e le teorie scientifiche sono implicite sintesi dei fatti; esse ci consentono di descrivere e anticipare i fenomeni. Un valido esempio è costituito dalla legge della rifrazione di Snel. Mach osservò che in natura vi sono vari esempi di rifrazione, e che la legge di rifrazione è una «regola compendiosa» in vista della ricostruzione mentale di questi fatti.⁴

Quale principio regolativo dell'impresa scientifica, Mach suggeriva un principio di economia. «La scienza» scriveva «potrebbe perciò essere considerata un problema di minimo, consistente nell'espone i fatti quanto più completamente è possibile con la minima fatica intellettuale.»⁵

Gli scienziati dovrebbero cercare di formulare relazioni che riassumono un gran numero di fatti. Mach sottolineava che un modo particolarmente efficace di conseguire l'economia della rappresentazione è la formulazione di teorie comprensive in cui le leggi empiriche vengono dedotte da pochi principi generali.

Il fisico austriaco condivideva altresì la convinzione di Berkeley secondo cui è un errore assumere che i concetti e le relazioni della scienza corrispondano a ciò che esiste in natura. Mach ammetteva, per esempio, che le teorie sugli atomi possono essere utili nella descrizione di certi fenomeni, ma ribadiva che ciò non fornisce alcuna prova dell'esistenza degli atomi in natura.

Al pari di Berkeley, Mach si rifiutava di postulare un regno della "realtà" costituito da qualità primarie, atomi o cariche elettriche, dietro il regno dell'apparenza. Il suo fenomenismo era risoluto quanto quello di Berkeley. Mach dichiarò che

nell'indagine sulla natura abbiamo a che fare soltanto con la conoscenza del nesso delle apparenze le une con le altre. Ciò che rappresentiamo a noi stessi dietro alle apparenze esiste *solamente* nel nostro intelletto, e per noi ha solo il valore di una *memoria tecnica* o di una formula, la cui forma, essendo arbitraria e irrilevante, varia molto facilmente a seconda del punto di vista della nostra cultura.⁶

Mach cercò di riformulare la meccanica newtoniana da un punto di vista fenomenista; sperava di mostrare, per mezzo di questa riformulazione, che la meccanica può essere spogliata delle speculazioni "metafisiche" sui moti nello spazio e nel tempo assoluti. La riformulazione prese la forma di una suddivisione delle proposizioni fondamentali della meccanica in due classi: le generalizzazioni empiriche e le definizioni *a priori*.

Secondo Mach, le generalizzazioni empiriche basilari della meccanica sono: 1) che i corpi disposti l'uno di fronte all'altro inducono l'uno nell'altro, in determinate circostanze che devono essere determinate per mezzo della fisica sperimentale, accelerazioni contrarie nella direzione della loro congiungente; 2) che il rapporto tra le masse di due corpi è indipendente dallo stato fisico dei corpi; e 3) che le accelerazioni che ciascun corpo *A*, *B*, *C*, ... induce nel corpo *K* sono indipendenti le une rispetto alle altre.

A queste generalizzazioni empiriche, Mach aggiungeva le definizioni di «rapporto tra le masse» e «forza». Il «rapporto tra le masse» dei due corpi è «il rapporto inverso delle accelerazioni preso con segno negativo» e «forza» è il «prodotto di massa per accelerazione».⁷

Mach considerava le generalizzazioni empiriche alla stregua di verità contingenti che vengono confermate dalle prove sperimentali: esse verrebbero falsificate se i risultati degli esperimenti dovessero risultare diversi da quelli finora osservati.

Il fisico austriaco sottolineava che le generalizzazioni, così come si presentano nella sua riformulazione, diventano empiricamente significative solamente quando vengono specificate le procedure per la misurazione degli intervalli spaziali e temporali. Mach

proponeva che gli intervalli spaziali venissero misurati relativamente a un sistema di coordinate definito dalle stelle "fisse", eliminando così qualsiasi riferimento allo spazio assoluto, e inoltre ribadiva che, siccome non ha senso parlare di un moto definendolo «uniforme in se stesso», i riferimenti al tempo assoluto devono essere eliminati. Secondo Mach, gli intervalli temporali devono essere misurati mediante processi fisici.

Ma anche nel caso che si riescano a trovare procedure fisiche soddisfacenti per determinare gli intervalli spazio-temporali, si potrebbe obiettare che Mach non ha dimostrato che le generalizzazioni empiriche della sua riformulazione sono esposte alla falsificazione. La formula «in determinate circostanze che devono essere determinate per mezzo della fisica sperimentale», che compare nella prima generalizzazione, cela un problema. Il fisico cerca di controllare la generalizzazione per sistemi isolati che non sono influenzati da mutamenti esterni ai sistemi stessi. Tuttavia, nel caso che non vengano rilevate «accelerazioni contrarie nella direzione della loro congiungente», ciò potrebbe anche essere considerato una dimostrazione non della falsità della generalizzazione, bensì del fatto che i due corpi sono stati isolati in maniera incompleta rispetto a influssi perturbanti. Un fisico che fosse interessato a mantenere a tutti i costi la generalizzazione in questione potrebbe usarla alla stregua di una convenzione per determinare se un sistema di corpi abbia oppure no le prerogative di un sistema isolato. In quanto convenzione, questa relazione non sarebbe passibile né di conferma né di confutazione.

La logica della disconferma secondo Duhem

Il punto di vista convenzionalista ricevette ulteriore appoggio dall'analisi della disconferma delle ipotesi compiuta da Pierre Duhem. Duhem sottolineò che la predizione del verificarsi di un certo fenomeno viene fatta a partire da un insieme di premesse che includono leggi ed asserzioni riguardo alle condizioni antecedenti.

Si consideri un caso nel quale la legge "tutte le cartine di tornasole blu diventano rosse quando vengono immerse in soluzione acida" viene controllata immergendo un lembo di cartina in un liquido. Potremo prevedere che la cartina diventerà rossa sulla base del seguente argomento deduttivo:

- L In tutti i casi in cui un pezzo di cartina di tornasole viene immerso in una soluzione acida, esso diventa rosso.
 - C Un pezzo di cartina tornasole viene immerso in una soluzione acida.
-
- ∴ E Il pezzo di cartina diventa rosso

Questo argomento è valido: se le premesse sono vere, allora anche la conclusione deve essere vera. Di conseguenza, se la conclusione è falsa, una o più di una delle pre-

messe deve essere falsa. Ma se la cartina non diventa rossa, quello che viene falsificato è la congiunzione di *L* e *C*, e non *L* stessa. Si potrebbe continuare ad affermare *L*, rivendicando che o non era presente alcuna tintura di tornasole, oppure che la cartina non è stata immersa in una soluzione acida. Naturalmente può anche darsi che vi siano mezzi indipendenti per accertare la verità dell'asserzione riguardo alle condizioni antecedenti. Ma l'osservazione in base a cui *E* non si verifica non può, di per sé, falsificare *L*.

Duhem era interessato principalmente a casi più complicati, in cui nella previsione di un fenomeno risulti coinvolto un certo numero di ipotesi. Sottolineò che, perfino se le condizioni antecedenti di tali casi sono state correttamente enunciate, la mancata osservazione del fenomeno predetto falsifica solamente la congiunzione delle ipotesi. Per ripristinare l'accordo con l'osservazione, lo scienziato è libero di alterare una qualsiasi delle ipotesi che si presentano nelle premesse. Può decidere, per esempio, di mantenere così com'è una particolare ipotesi, e sostituire o modificare le altre ipotesi dell'insieme. Adottare una strategia del genere significa attribuire a quella particolare ipotesi lo status di una convenzione per la quale la questione della verità o falsità non si pone.

Ma sebbene abbia indicato il modo in cui un'ipotesi potrebbe essere trasformata in una convenzione non annullabile, Duhem non compilò un elenco di specifiche ipotesi che avrebbero dovuto essere interpretate come convenzioni e nulla più. Duhem credeva che, in presenza di un risultato sperimentale disconfermante, la decisione riguardo a quali assunzioni di una teoria debbano essere modificate andrebbe lasciata al ponderato giudizio degli scienziati. Inoltre indicò che la condizione necessaria per l'emissione di un giudizio ponderato è un atteggiamento spassionato e oggettivo.

In certi casi può darsi che vi siano buone ragioni per operare cambiamenti in un certo assunto di una teoria piuttosto che in un altro. Questo varrebbe, per esempio, se un primo assunto dovesse presentarsi in un certo numero di teorie confermate, mentre un secondo assunto comparisse solamente nella teoria presa in considerazione. Eppure nella logica della disconferma non c'è nulla che consenta di individuare le parti erronee di una teoria.

Duhem applicò la sua analisi della logica della disconferma all'idea di "esperimento cruciale". Francesco Bacone aveva suggerito esperimenti cruciali, o "istanze cruciali", che decidono in maniera conclusiva fra due teorie in competizione. Nel XIX secolo si supponeva generalmente che la determinazione sperimentale, da parte di Léon Foucault, che la velocità della luce è maggiore nell'aria che nell'acqua, fosse un esperimento cruciale. Il fisico Jean-François Arago, per esempio, dichiarava che l'esperimento di Foucault aveva dimostrato non solo che la luce *non* è un fascio di particelle emesse, ma anche che la luce è un moto ondulatorio.

Duhem rilevò che Arago si sbagliava per due motivi. Anzitutto l'esperimento di Foucault falsifica soltanto un insieme di ipotesi. All'interno delle teorie corpuscolari

di Newton e Laplace, la predizione che la luce viaggi più velocemente nell'acqua che nell'aria è dedotta soltanto da un gruppo di proposizioni. L'ipotesi dell'emissione, che paragona la luce a uno sciame di proiettili, è solamente una di queste premesse. Ci sono, inoltre, proposizioni che riguardano le interazioni dei corpuscoli emessi e i mezzi attraverso i quali essi viaggiano. I sostenitori della teoria corpuscolare, quando si trovarono dinanzi i risultati dell'esperimento di Foucault, avrebbero potuto decidere di mantenere l'ipotesi dell'emissione e di fare alcune correzioni alle altre premesse della teoria corpuscolare. In secondo luogo, anche se sulla base di altre ragioni fosse certo che ogni assunzione della teoria corpuscolare è vera, eccezion fatta per l'ipotesi dell'emissione, l'esperimento di Foucault non proverebbe ancora che la luce è un moto ondulatorio. Né Arago né alcun altro scienziato potrebbe dimostrare che la luce deve essere o uno sciame di corpuscoli emessi o un moto ondulatorio. Ci potrebbe essere una terza alternativa. Duhem sottolineò che un esperimento sarebbe "cruciale" solo se eliminasse in maniera risolutiva ogni possibile insieme di premesse esplicative, salvo uno. Ebbe quindi ragione a insistere sul fatto che non possono esserci esperimenti del genere.⁸

Il convenzionalismo di Poincaré

Fu Henri Poincaré a spiegare nel modo più convincente le implicazioni di una concezione convenzionalista dei principi generali della scienza. Poincaré separò la pretesa di Whewell, secondo cui certe leggi scientifiche giungono a essere verità *a priori*, dall'epistemologia kantiana a cui Whewell si appellava per giustificare lo status *a priori* di queste leggi. Per Poincaré la questione dell'esistenza di un insieme di idee immutabili che in certo qual modo investono le leggi scientifiche di uno status necessario non si pone affatto. Secondo Poincaré, il fatto che una legge scientifica sia ritenuta vera, indipendentemente da qualsiasi richiamo all'esperienza, riflette meramente l'implicita decisione degli scienziati di usare la legge come convenzione che specifica il significato di un concetto scientifico. Se la legge è vera *a priori*, ciò è dovuto al fatto che è stata enunciata in maniera che nessuna evidenza empirica possa valere contro di essa.

I DUE IMPIEGHI DELLE LEGGI DELLA MECCANICA

La legge di inerzia, per esempio, non è soggetta a conferma o confutazione diretta da parte dell'evidenza empirica. Nella formulazione di Poincaré, il «principio di inerzia generalizzato» specifica che l'accelerazione di un corpo dipende solo dalla sua posizione, e dalle posizioni e velocità dei corpi vicini.⁹ Poincaré aveva osservato che un controllo *decisivo* di questo principio avrebbe richiesto che, dopo un certo periodo di tempo, ogni corpo dell'universo riassumesse la posizione e la velocità che aveva

assunto in un qualche particolare momento antecedente. Ma un controllo del genere non può essere eseguito. Il massimo che si possa fare è un esame del comportamento di un gruppo di corpi "ragionevolmente isolati" dal resto dell'universo. Non c'è bisogno di dire che la mancata osservazione dei moti previsti all'interno di un sistema che si suppone isolato non falsificherebbe il principio di inerzia generalizzato. Le eventuali discrepanze verrebbero attribuite all'incompleto isolamento del sistema. I calcoli potrebbero essere ripetuti, tenendo conto delle posizioni e delle velocità di corpi aggiunti al sistema. Non c'è limite al numero di revisioni di questo genere che potrebbero essere eseguite.

Poincaré concludeva che il principio di inerzia generalizzato potrebbe essere considerato una convenzione che statuisce il significato dell'espressione "moto inerziale". Da questo punto di vista, "moto inerziale" significa "moto di un corpo tale che la sua accelerazione dipende solo dalla sua posizione e dalle posizioni e velocità dei corpi vicini". Per definizione, qualsiasi corpo il cui moto non venga calcolato correttamente a partire dai dati sulla sua posizione e sulle posizioni e velocità di un insieme di corpi vicini, non è un corpo in moto inerziale.

Comunque, sebbene ritenesse che il principio di inerzia generalizzato venga (e possa essere) usato come una convenzione che definisce implicitamente l'espressione "moto inerziale", Poincaré credeva anche che il principio potesse essere usato come una generalizzazione empiricamente significativa, valida approssimativamente per i sistemi "quasi isolati", e sviluppò un'analisi simile dello status cognitivo delle altre due leggi newtoniane del moto. Se da un lato queste leggi funzionano come definizioni convenzionali di "forza" e di "massa", dall'altro, date le procedure per misurare spazio, tempo e forza, esse sono generalizzazioni confermate con una certa approssimazione per sistemi "quasi isolati".

Perciò sarebbe inesatto attribuire al matematico francese la concezione secondo cui le leggi scientifiche generali non sono *altro* che convenzioni che definiscono i concetti fisici fondamentali. Queste leggi hanno una legittima funzione in quanto convenzioni, ma hanno anche una legittima funzione in quanto generalizzazioni. Commentando le leggi della meccanica, Poincaré dichiarò che esse

ci si presentano sotto due aspetti differenti. Da una parte, sono delle verità fondate sull'esperienza e verificate in maniera approssimata per quanto riguarda i sistemi quasi isolati. Dall'altra, sono dei postulati applicabili all'insieme dell'universo e considerati rigorosamente veri.¹⁰

Poincaré notava che nel corso dello sviluppo della scienza alcune leggi arrivano a esibire questi due aspetti. Inizialmente tali leggi vengono impiegate esclusivamente come generalizzazioni sperimentali: per esempio una legge potrebbe enunciare un rapporto fra due termini *A* e *B*. Se tengono presente che il rapporto vale solo in maniera approssimativa, gli scienziati possono introdurre un termine *C* che, per defi-

nizione, ha con *A* il rapporto che viene espresso dalla legge. L'originaria legge sperimentale è stata ora suddivisa in due parti: un principio *a priori* che enuncia un rapporto tra *A* e *C*, e una legge sperimentale che enuncia un rapporto tra *B* e *C*.¹¹

Quando i termini "moto inerziale", "forza" e "massa" vengono definiti implicitamente dalle leggi del moto di Newton, essi sono termini dello stesso tipo di *C*. Poincaré riteneva che fosse una questione di convenzione che questi termini venissero accolti in quanto definiti dalle leggi di Newton. Non vi sono prove empiriche a dimostrazione del fatto che il rapporto enunciato fra i termini *A* e *C* è falso. Questo tuttavia non equivale a dire che la scelta della definizione sia arbitraria. Poincaré ribadiva che l'introduzione di convenzioni nella teoria fisica è giustificata solo se si dimostra fruttuosa nella ricerca successiva.¹²

LA SCELTA DI UNA GEOMETRIA PER DESCRIVERE LO "SPAZIO FISICO"

Poincaré sosteneva che anche la scelta di quale geometria pura venga impiegata per descrivere relazioni spaziali tra i corpi è una questione di convenzione. Comunque prevedeva che gli scienziati avrebbero continuato a optare per la geometria euclidea, in quanto è quella più semplice da applicare.

Nel XIX secolo, il matematico Carl Gauss eseguì un esperimento volto a confermare la descrizione euclidea delle relazioni spaziali. Gauss misurò la somma degli angoli di un triangolo formato dai raggi di luce emessi da tre vette di montagne lontane e scoprì che, nei limiti dell'accuratezza della sua attrezzatura di rilevamento, non vi era alcuna deviazione dal valore euclideo di 180°.

Ma anche se Gauss avesse riscontrato una deviazione sensibile rispetto ai 180°, ciò non avrebbe dimostrato che la geometria euclidea è inapplicabile alle relazioni spaziali sulla superficie della Terra. Qualsiasi deviazione rispetto al valore euclideo avrebbe potuto essere attribuita a una "flessione" dei raggi luminosi utilizzati per effettuare le osservazioni.

Poincaré richiamò l'attenzione sul fatto che l'applicazione di una geometria pura all'esperienza comporta necessariamente ipotesi su fenomeni fisici come la propagazione di raggi luminosi, le proprietà di pertiche di misurazione e simili, e sottolineò che l'applicazione di una geometria pura all'esperienza, al pari di ogni teoria fisica, ha una componente astratta e una componente empirica. Quando una geometria fisica non è in accordo con le osservazioni, l'accordo può essere ripristinato o sostituendo a essa una geometria pura differente (un diverso sistema di assiomi) oppure modificando le ipotesi fisiche associate. Poincaré credeva che, messi di fronte a una simile scelta, gli scienziati avrebbero invariabilmente scelto di modificare le ipotesi fisiche e di mantenere la più conveniente geometria pura euclidea.¹³

Tuttavia, come ha messo in rilievo Hempel, in certi casi una maggiore semplicità d'insieme può essere ottenuta adottando una geometria non-euclidea e lasciando immutate le ipotesi fisiche associate. Secondo Hempel, limitando le considerazioni di

complessità alle sole geometrie pure Poincaré sbagliava. Quello che conta è la complessità della congiunzione di una geometria pura e delle ipotesi fisiche associate.¹⁴

Popper e la falsificabilità come criterio del metodo empirico

Karl Popper decise di prendere sul serio la prospettiva convenzionalista. Osservò che è sempre possibile conseguire l'accordo fra una teoria e le osservazioni. Se un certo risultato osservativo è incoerente con le conseguenze della teoria, vi sono alcune strategie che possono essere seguite per "salvare" la teoria. L'evidenza osservativa può essere ruscata del tutto, oppure può essere spiegata aggiungendo ipotesi ausiliarie o modificando le regole di corrispondenza.¹⁵ Queste strategie possono introdurre uno sconcertante grado di complessità in un sistema teorico. Cionondimeno è sempre possibile trovare il modo di eludere l'evidenza falsificante.

Secondo Popper, il metodo empirico propriamente detto consiste nell'espone costantemente una teoria alla possibilità di essere falsificata. Il filosofo concludeva che per combattere il convenzionalismo bisogna decidere di non impiegare i suoi metodi e, coerentemente con questa conclusione, proponeva un insieme di regole metodologiche per le scienze empiriche. La regola suprema è un criterio di adeguatezza per tutte le altre regole, proprio come l'imperativo categorico di Kant è un criterio di adeguatezza per le norme morali. Questa regola suprema dice che tutte le regole del metodo empirico «devono essere progettate in maniera tale da non proteggere dalla falsificazione nessuna asserzione della scienza».¹⁶

Sulla questione dell'aggiunta di ipotesi ausiliarie a una teoria, per esempio, Popper suggeriva che venissero ammesse soltanto quelle ipotesi che aumentano il grado di falsificabilità della teoria. Sotto questo profilo contrapponeva il principio di esclusione di Pauli e l'ipotesi della contrazione di Fitzgerald e Lorentz.¹⁷ Il principio di Pauli era un'aggiunta alla teoria atomica di Niels Bohr e Arnold Sommerfeld. Wolfgang Pauli aveva postulato che in un dato atomo non vi sono due elettroni con lo stesso insieme di numeri quantici. Due elettroni di un atomo, per esempio, possono differire per quantità di moto angolare orbitale, oppure per lo spin. L'aggiunta di questo principio di esclusione alla teoria della struttura atomica allora vigente aveva reso possibili ulteriori predizioni riguardanti gli spettri atomici e le combinazioni chimiche. L'ipotesi della contrazione di Lorentz, d'altro canto, non aumentava il grado di falsificabilità della teoria dell'etere a cui era stata collegata. Lorentz ipotizzava che tutti i corpi sulla Terra subiscano una lieve contrazione nella direzione del moto della Terra attraverso l'etere circostante. Grazie a questa ipotesi era in grado di spiegare, nei termini della teoria dell'etere, il risultato dell'esperimento di Michelson e Morley.

* Le regole di corrispondenza sono regole semantiche o "voci del dizionario" che collegano gli assiomi di una teoria ad asserzioni di grandezze empiricamente determinate.

Michelson e Morley avevano mostrato che la velocità della luce nel corso di un itinerario di andata e ritorno è la stessa in tutte le direzioni sulla superficie terrestre. Questo risultato sperimentale era in contraddizione con la teoria dell'etere, secondo la quale la velocità della luce nel corso di un viaggio di andata e ritorno avrebbe dovuto risultare minore nella direzione del moto della Terra attraverso l'etere, rispetto a un percorso effettuato in una direzione perpendicolare a questo moto. L'ipotesi della contrazione di Lorentz ripristinava l'accordo fra la teoria dell'etere e l'esperimento, ma realizzava una procedura *ad hoc*. Non si potevano formulare ulteriori previsioni in base alla teoria dell'etere corredata da questa ipotesi ulteriore. Popper cita l'ipotesi di Lorentz come esempio di un'ipotesi ausiliaria che dovrebbe essere esclusa dalla scienza empirica in virtù del criterio di falsificabilità.

Un'ipotesi che sia esposta alla possibilità della falsificazione soddisfa il criterio di demarcazione di Popper. Essa ha presentato le credenziali per essere ammessa nel dominio del discorso scientifico. Per essere accettabile, un'ipotesi deve soddisfare un ulteriore requisito: deve superare i controlli progettati per confutarla.

Popper distingueva i controlli dai meri esempi. Un controllo è un serio tentativo di confutazione; esso implica un confronto tra una conseguenza deduttiva di un'ipotesi e un'"asserzione base" che registra un'osservazione.* Un'"asserzione base" descrive il verificarsi di un evento intersoggettivamente osservabile in una regione definita dello spazio e del tempo.

Popper riconosceva che le asserzioni base non sono incorreggibili. Può darsi che ci sbagliamo riguardo al verificarsi degli eventi. Cionondimeno, è necessario considerare vere alcune asserzioni base se si vuole sottoporre a controllo un'ipotesi. Perciò vi è un elemento di convenzionalismo nel controllo delle ipotesi. Popper scrisse che

la base empirica delle scienze oggettive non ha in sé nulla di "assoluto". La scienza non posa su un solido strato di roccia. L'ardita struttura delle sue teorie si eleva, per così dire, sopra una palude. È come un edificio costruito su palafitte. Le palafitte vengono conficcate dall'alto, giù nella palude: ma non in una base naturale o "data"; e il fatto che desistiamo dai nostri tentativi di conficcare più a fondo le palafitte non significa che abbiamo trovato un terreno solido. Semplicemente, ci fermiamo quando siamo soddisfatti e riteniamo che almeno per il momento i sostegni siano abbastanza stabili da sorreggere la struttura.¹⁸

Popper suggeriva che l'accettabilità di una legge o di una teoria fosse determinata dal numero, dalla diversità e dalla severità dei controlli che ha superato. Come spiegazione qualitativa, questa è una ricostruzione convincente. La maggior parte dei filosofi della scienza concordava sul fatto che un controllo della legge di rifrazione che comprenda vari angoli di incidenza e svariate coppie di mezzi è più adeguato di un

* Più precisamente, è la conseguenza deduttiva della congiunzione di ipotesi, asserzioni riguardo alle condizioni rilevanti ed eventualmente ipotesi ausiliarie, che viene confrontata con un resoconto osservativo.

controllo ristretto all'interfaccia aria-acqua con un angolo di incidenza di 30°. Parimenti, vi è un generale consenso riguardo al fatto che la scoperta compiuta in occasione della spedizione organizzata per osservare l'eclissi del 1919, secondo cui la luce delle stelle lontane viene deviata dal Sole, fu un controllo severo della teoria della relatività generale.¹⁹

È facile citare esempi di controlli severi. Tuttavia è difficile misurare la severità dei controlli. Questo Popper era disposto a riconoscerlo, anche se osservò che la severità dipendeva dall'ingegnosità dell'allestimento di un esperimento, dall'accuratezza e dalla precisione dei risultati raggiunti, e dall'estensibilità dei nessi che collegano l'ipotesi sottoposta a controllo ad altri assunti teorici.

Nondimeno, Popper cercò di elaborare una misura quantitativa dell'accettabilità facendo riferimento al concetto di «verisimilitudine» (approssimazione alla verità). Popper riteneva che le asserzioni derivabili da una teoria possono essere suddivise tra quelle che sono vere (e che costituiscono il suo «contenuto di verità») e quelle che sono false (il suo «contenuto di falsità»). Assumendo che i contenuti di verità e di falsità delle teorie T_1 e T_2 siano confrontabili, Popper enunciò la seguente definizione di «verisimilitudine comparativa»:

T_2 è più vicina alla verità, ovvero corrisponde ai fatti meglio di T_1 se e solo se: *a*) il contenuto di verità, ma non il contenuto di falsità, di T_2 , supera quello di T_1 , *b*) il contenuto di falsità di T_1 , ma non il suo contenuto di verità, supera quello di T_2 .²⁰

La definizione di Popper è inappropriata. Pavel Tichý²¹ e David Miller²² hanno dimostrato che se tanto T_1 quanto T_2 sono falsi, allora né la condizione (*a*) né la condizione (*b*) possono essere soddisfatte. Ma lo scopo dell'introduzione della verisimilitudine è di permettere di affermare che una teoria falsa (per esempio la teoria dell'attrazione gravitazionale di Newton) è «più vicina alla verità» di un'altra teoria falsa (per esempio la teoria della caduta libera di Galilei). Popper ammetteva che la sua definizione iniziale di «verisimilitudine comparata» era inadeguata. Purtroppo i successivi tentativi di Popper e di altri per emendare la definizione non sono stati coronati da successo.²³

Popper vedeva la storia della scienza come una successione di congetture, confutazioni, congetture riviste e ulteriori confutazioni. La procedura scientifica vera e propria consiste nell'espone le congetture ai controlli più severi che si possano escogitare. Se una congettura supera un controllo, allora è stata «corroborata». Popper affermava che la «corroborazione» è un'approvazione «retrospettiva». L'ottenimento della corroborazione non giustifica la convinzione che un'ipotesi sia vera, o approssimativamente vera. Popper si era coerentemente opposto all'appello alle argomentazioni induttive per giustificare le ipotesi. Secondo il suo punto di vista, non è corretto affermare che, se l'ipotesi H ha superato i controlli $t_1 \dots t_n$, allora è probabile che H superi il controllo t_{n+1} .

Il filosofo, comunque, si richiamava spesso a un'analogia tratta dalla teoria dell'evoluzione organica. Una teoria ben corroborata ha dimostrato la sua «idoneità [fitness] a sopravvivere». Questa analogia evolutivista crea una tensione all'interno della filosofia antinduttivista della scienza di Popper. Per una teoria è importante superare i controlli (questo infatti è ciò che stabilisce la sua idoneità evolutiva nella storia della scienza), ma il superamento dei controlli non conferisce alcun beneficio epistemologico. Non si può argomentare induttivamente che il superamento dei controlli giustifica una credenza nella verità approssimata di una teoria. Però allora è poco chiaro perché si dovrebbe scegliere, in vista delle ulteriori applicazioni, una teoria ben corroborata anziché una teoria confutata. Se l'inferenza induttiva non è consentita, allora le due seguenti indicazioni

1. applicare T_2 , perché è verosimile che una teoria che ha avuto successo in passato abbia successo anche in futuro anziché fallire;
2. applicare T_1 , perché una teoria che ha fallito in precedenza potrebbe clamorosamente tornare a mostrare la sua validità,

si trovano sullo stesso piano. Popper era consapevole di questa difficoltà. La sua risposta fu di accettare «un alito di induttivismo», basandosi sull'assunto che «la realtà, pur essendo sconosciuta, è per alcuni aspetti simile alla descrizione che ne offre la scienza».²⁴ Data questa assunzione realista,

possiamo argomentare che sarebbe una coincidenza altamente improbabile che una teoria come quella di Einstein riuscisse a prevedere correttamente misurazioni estremamente precise non previste dalle precedenti teorie a meno che in essa non sia contenuta «un po' di verità».²⁵

I critici di Popper hanno affermato che ammettere questo «alito di induttivismo» equivale ad abbandonare completamente la posizione antinduttivista.²⁶

12. La filosofia della scienza del ricostruzionismo logico

<i>Una gerarchia di livelli del linguaggio</i>	169
<i>Operazionismo</i>	170
<i>Il modello deduttivo della spiegazione</i>	173
<i>Generalizzazioni nomiche e generalizzazioni accidentali</i>	175
<i>La conferma delle ipotesi scientifiche</i>	177
LA CONFERMA QUALITATIVA: IL PARADOSSO DEI CORVI	178
CARNAP E LA CONFERMA QUANTITATIVA	179
<i>La struttura delle teorie scientifiche</i>	180
<i>Sostituzione di teorie: crescita per incorporazione</i>	182
LE CONDIZIONI FORMALI PER LA RIDUZIONE	183
LE CONDIZIONI NON-FORMALI PER LA RIDUZIONE	183
IL PROGRESSO PER INCORPORAZIONE	183

PERCY WILLIAMS BRIDGMAN (1882-1962), fisico, vincitore del premio Nobel, svolse ricerche d'avanguardia sulle proprietà della materia sottoposta a pressioni elevate. I suoi rilevamenti sperimentali comprendevano le proprietà elettriche e termiche di varie sostanze a pressioni estremamente elevate, dell'ordine di 100 000 atmosfere. Nel 1939 precluse l'accesso ai suoi laboratori di Harvard per lo studio dell'alta pressione ai cittadini dei paesi totalitari, un atto che suscitò controversie nella comunità accademica. Bridgman fu l'artefice di un orientamento metodologico noto con il nome di "operazionismo", che mette in rilievo le operazioni eseguite per assegnare dei valori ai concetti scientifici.

CARL HEMPEL (1905-1997), filosofo di origine tedesca, studiò a Göttingen, Heidelberg e Berlino. Membro del gruppo di Berlino, che sosteneva le finalità e i punti di vista del Circolo di Vienna nei primi anni trenta, nel 1937 si trasferì negli Stati Uniti, e insegnò a Yale e a Princeton. Scrisse importanti saggi sulla logica della spiegazione scientifica e sulla struttura delle teorie. Un certo numero di questi saggi è raccolto nel volume *Aspects of Scientific Explanation* (Aspetti della spiegazione scientifica, 1965).

ERNEST NAGEL (1901-1987), nato in Cecoslovacchia, emigrò negli Stati Uniti nel 1911, dove trascorse quasi tutta la sua carriera accademica come professore di filosofia alla Columbia University. Nagel fu uno dei primi filosofi americani a prendere posizione favorevole nei confronti del lavoro del Circolo di Vienna. Il suo libro *La struttura della scienza. Problemi di logica nella spiegazione scientifica* (1961) contiene penetranti analisi della logica della spiegazione scientifica, dell'universalità nomica, della causalità della struttura, e dello status cognitivo delle teorie.

Una gerarchia di livelli del linguaggio

Dopo la Seconda guerra mondiale, la filosofia della scienza venne costituendosi quale disciplina accademica autonoma, provvista di specifici programmi per i corsi di laurea e di una stampa periodica specializzata. Questa professionalizzazione avvenne, in parte, perché i filosofi della scienza credevano che si sarebbero potuti conseguire risultati importanti, e che da essi la scienza avrebbe tratto considerevoli vantaggi.

La filosofia della scienza del dopoguerra è stata il tentativo di realizzare il programma proposto da Norman Campbell. Nei suoi *Foundations of Science* (I fondamenti della scienza, 1919),¹ Campbell osservava che i recenti studi sui fondamenti della matematica prodotti da Hilbert, Peano e altri avevano chiarito la natura dei sistemi assiomatici. Questo sviluppo aveva avuto una considerevole importanza per gli studi matematici a venire. Campbell ipotizzava che uno studio dei "fondamenti" della scienza empirica potesse avere valore simile per la pratica della scienza. I "fondamenti" che Campbell discusse comprendono la natura della misurazione e la struttura delle teorie scientifiche.*

I filosofi della scienza che cercavano di elaborare la loro disciplina in maniera analoga agli studi sui fondamenti della matematica accettavano la distinzione proposta da Hans Reichenbach tra il contesto della scoperta scientifica e il contesto della giustificazione.² Essi concordavano sul fatto che il dominio vero e proprio della filosofia della scienza è il contesto della giustificazione. Inoltre cercavano di riformulare le leggi e le teorie scientifiche entro gli schemi della logica formale, di modo che le questioni riguardanti la spiegazione e la conferma potessero essere affrontate come problemi di logica applicata.

Il grande risultato ottenuto dal ricostruzionismo logico fu un nuovo modo di intendere il linguaggio della scienza, il quale comprende una gerarchia di livelli, alla cui base stanno le asserzioni che registrano le letture degli strumenti, e al cui vertice stanno le teorie.

I filosofi della scienza ricostruzionisti trassero alcune importanti conclusioni circa la natura di questa gerarchia:

* La posizione di Campbell sulla struttura delle teorie scientifiche è discussa nel capitolo 9, pagg. 133-138.

Livelli di linguaggio nella scienza

Livello	Contenuto	Esempio
Teorie	Sistemi deduttivi in cui le leggi sono teoremi	Teoria cinetica molecolare
Leggi	Rapporti invarianti (o statistici) tra concetti scientifici	Legge di Boyle (" $P \propto 1/V$ ")
Valori dei concetti	Asserzioni che assegnano dei valori ai concetti scientifici	" $P = 2,0 \text{ atm}$ " " $V = 1,5 \text{ l}$ "
Dati sperimentali primari	Asserzioni riguardo a letture di indicatori, menischi, contatori <i>et al.</i>	"La lancetta indica 3,5."

- Ogni livello è un' "interpretazione" del livello sottostante.
- Il potere predittivo delle asserzioni aumenta via via che si procede dalla base verso il vertice.
- La principale divisione entro il linguaggio della scienza è quella tra un "livello osservativo", che comprende i tre livelli più bassi della gerarchia, e un "livello teorico", il livello più elevato della gerarchia. Il livello osservativo contiene asserzioni riguardanti "osservabili" come "pressione" e "temperatura"; il livello teorico contiene asserzioni riguardanti "non-osservabili" come "geni" e "quark".
- Le asserzioni del livello osservativo forniscono una base di controllo per le asserzioni del livello teorico.

Operazionismo

In analisi risalenti al 1927, Bridgman aveva sottolineato che ogni concetto *bona fide* scientifico deve essere riconducibile a procedure sperimentali che ne determinano i valori.³ Bridgman era rimasto colpito dalla disamina del concetto di "simultaneità" elaborata da Einstein.

Einstein aveva analizzato le operazioni implicate nel giudicare che due eventi sono simultanei, e aveva osservato che una determinazione di simultaneità presuppone un trasferimento di informazione, per mezzo di qualche segnale, dagli eventi in questione a un osservatore. Tuttavia il trasferimento di informazione da un punto a un altro richiede un lasso di tempo finito. Perciò, nell'eventualità che gli eventi in questione si verificano in sistemi che sono in movimento l'uno rispetto all'altro, i

giudizi di simultaneità dipendono dai moti relativi dei sistemi e dell'osservatore. Dato un particolare insieme di moti, l'osservatore Lince sul sistema 1 può giudicare che l'evento x sul sistema 1 e l'evento y sul sistema 2 sono simultanei, mentre l'osservatore Falco sul sistema 2 può giudicare altrimenti. Si badi bene che non c'è alcun punto di vista privilegiato da cui determinare che Lince ha ragione e Falco ha torto, o viceversa. Einstein ne concludeva che la simultaneità è un rapporto tra due o più eventi e un osservatore, non un rapporto oggettivo tra eventi.

Bridgman dichiarò che sono le operazioni in virtù delle quali vengono assegnati dei valori a fornire significato empirico a un concetto scientifico. Osservò anche che le definizioni operative collegano i concetti ai dati sperimentali primari tramite lo schema

$$(x) [Ox \supset (Cx \equiv Rx)]^*$$

A partire da una definizione operativa e dai dati sperimentali primari appropriati, si può dedurre un valore del concetto. Si consideri un caso in cui la presenza di un corpo elettricamente carico è determinata mediante operazioni con un elettroscopio:

$$(x) [Nx \supset (Ex \equiv Dx)]$$

$$\begin{array}{c} Na \\ Da \\ \hline \therefore Ea \end{array}$$

dove $Nx = x$ è un caso in cui un oggetto viene portato in prossimità di un elettroscopio neutro,
 $Ex = x$ è un caso in cui l'oggetto è elettricamente carico
 e
 $Dx = x$ è un caso in cui le foglie dell'elettroscopio divergono.

Dato che Na e Da sono dati sperimentali primari, questo argomento deduttivo permette allo scienziato di risalire, per così dire, dai dati sperimentali primari, al livello del "direttamente osservato", al livello dei concetti scientifici (*vedi* lo schema nella pagina seguente).

Bridgman ribadiva che se per un certo concetto non si può specificare alcuna definizione operativa, allora il concetto non ha significato empirico e va escluso dalla scienza. Tale fu il destino della «simultaneità assoluta», e Bridgman raccomandava un'esclusione simile per lo "spazio assoluto" e per la teorizzazione di Clifford secon-

* In tutti i casi, se vengono eseguite le operazioni O , allora il concetto C si applica se, e solo se, si presentano i risultati R .

Livello del linguaggio	Esempio
Asserzioni che assegnano valori a concetti scientifici	Ea
Schemi operazionali	$(x) [Nx \supset (Ex \equiv Dx)]$
Dati sperimentali primari	Na, Da

do cui, man mano che il sistema solare si sposta attraverso lo spazio, sia gli strumenti di misurazione sia le dimensioni degli oggetti misurati manifestano il medesimo tasso di contrazione.⁴

Eppure, sebbene avesse ribadito che devono essere stabiliti dei nessi tra le asserzioni riguardanti i termini teorici e il linguaggio osservativo in cui vengono registrati i risultati delle misurazioni, Bridgman riconosceva che i nessi possono essere effettivamente complessi. Uno degli esempi da lui forniti è il concetto di «sforzo in un corpo elastico deformato». Lo sforzo non può essere misurato direttamente, ma può essere calcolato per mezzo di una teoria matematica a partire da misurazioni effettuate sulla superficie del corpo. Perciò, per il concetto di sforzo, le operazioni eseguite includono operazioni «con carta e matita». Nessuna materia. Dato il rapporto formale tra «sforzo» e «deformazione», e dati i risultati delle operazioni strumentali eseguite sulla superficie del corpo, segue deduttivamente un valore dello sforzo. Questo è sufficiente a conferire allo sforzo la qualifica di concetto ammissibile dal punto di vista operazionista.

Nei suoi scritti del dopoguerra, Bridgman sottolineò due limiti dell'analisi operazionista.⁵ Un limite è che non si possono specificare tutte le circostanze presenti quando viene eseguita un'operazione. Bisogna arrivare a un compromesso tra il requisito della ripetibilità intersoggettiva e l'auspicabilità di una completa elaborazione delle condizioni in cui viene eseguita un'operazione.

Gli scienziati hanno credenze antecedenti riguardo a quali fattori siano rilevanti per la determinazione dei valori di una quantità, e procedono sulla base dell'assunto che sia giusto ignorare numerosi fattori «irrilevanti» quando si ripete un certo tipo di operazione per misurare quella quantità. Gli scienziati, per esempio, eseguono operazioni con i manometri per determinare la pressione dei gas senza prendere in considerazione l'intensità dell'illuminazione nella stanza o l'attività delle macchie solari. Bridgman osservava che l'esclusione di certi fattori può essere giustificata solo in base all'esperienza, e avvertiva che un'estensione delle operazioni a nuovi ambiti dell'esperienza può richiedere che si prendano in considerazione fattori precedentemente ignorati.

Una seconda limitazione dell'analisi operazionistica è la necessità di accettare

alcune operazioni non analizzate. Per ragioni pratiche, l'analisi delle operazioni in termini di operazioni più elementari non può procedere indefinitamente. Il concetto di «più pesante di», per esempio, può essere analizzato in termini di operazioni con una bilancia a giogo. Queste operazioni, a loro volta, possono essere ulteriormente analizzate specificando i metodi per costruire e calibrare le bilance. Ma, ammesso che siano state rispettate le precauzioni standard riguardo all'errore di parallasse, gli scienziati assumono che la determinazione della posizione della lancetta sulla scala della bilancia sia un'operazione che non richiede ulteriori analisi.

Le operazioni eseguite per misurare «l'ora locale» e la «lunghezza locale» vengono accettate come operazioni non analizzate sia nella fisica classica sia nella fisica della relatività. L'«ora locale» di un evento è la sua coincidenza con la posizione di una lancetta su un orologio. La «lunghezza locale» di un corpo è la coincidenza delle sue estremità con una barra rigida, opportunamente calibrata, nei casi in cui non vi è moto del corpo rispetto alla barra.

Naturalmente la determinazione delle coincidenze nel modo sopra specificato non può garantire che lo strumento coinvolto funzioni in maniera appropriata in quanto bilancia o orologio, oppure che la barra sia una misura appropriata della lunghezza. Inoltre si possono accettare determinati generi non analizzati di determinazione di coincidenza senza necessariamente adottare l'inderogabile posizione secondo cui questi generi di determinazione della coincidenza sarebbero non analizzabili. Bridgman sottolineava che, sebbene sia necessario accettare *alcune* operazioni in quanto non analizzate, la decisione di accettare come non analizzato un particolare insieme di operazioni è soggetta a revisione man mano che la nostra esperienza si fa sempre più estesa. Il fisico osservava che finora la nostra esperienza è stata tale che non sono sorte difficoltà per la teoria fisica dall'accettazione del fatto che le summenzionate determinazioni di coincidenza non fossero state analizzate. Tuttavia ribadì che è sempre possibile fornire un'analisi più particolareggiata delle operazioni.⁶ Così, secondo Bridgman, quelle determinazioni di coincidenza comunemente accettate senza preventiva analisi forniscono alle asserzioni teoriche un ancoraggio pur sempre provvisorio nel linguaggio osservativo.

Il modello deduttivo della spiegazione

Gli schemi operativi mettono in rapporto asserzioni riguardanti concetti scientifici con dati sperimentali primari. Al livello immediatamente superiore, il programma ortodosso consiste nello specificare le relazioni logiche tra concetti scientifici e leggi. Il programma può essere messo in pratica partendo da una qualsiasi delle estremità. Data un'asserzione relativa al valore di un concetto scientifico, si può cercare di spiegare questo fatto facendo riferimento a qualche legge. E data una legge, se ne possono cercare le conferme tra le asserzioni relative ai valori dei concetti scientifici.

In un articolo del 1948, che esercitò una vasta influenza, Carl Hempel e Paul Oppenheim affrontarono il problema della spiegazione scientifica.⁷ Commentando l'osservazione di un rematore secondo cui il suo remo era "piegato", Hempel e Oppenheim proposero che

l'interrogativo "perché si verifica questo fenomeno?" dovrebbe essere analizzato come se significasse: "secondo quali leggi generali e in virtù di quali condizioni antecedenti avviene il fenomeno?"⁸

Il modello deduttivo della spiegazione di un fenomeno assume la forma seguente:

$$\begin{array}{l} L_1, L_2, \dots, L_k \quad \text{Leggi generali.} \\ C_1, C_2, \dots, C_r \quad \text{Asserzioni delle condizioni antecedenti.} \\ \hline \therefore E \quad \text{Descrizione del fenomeno.} \end{array}$$

Nel caso del rematore, le leggi generali sono la legge di rifrazione e la legge secondo cui l'acqua è otticamente più densa dell'aria. Le condizioni antecedenti sono che il remo sia diritto e che venga immerso nell'acqua con un particolare angolo.

Hempel e Oppenheim enunciarono l'importante considerazione logica secondo cui le asserzioni riguardo a un fenomeno non possono essere dedotte dalle sole leggi generali. È necessario includere una premessa sulle condizioni in presenza delle quali il fenomeno si verifica. Le condizioni antecedenti comprendono sia le condizioni di contorno in cui si ritiene che le leggi valgano, sia quelle condizioni iniziali che vengono realizzate precedentemente al, o nello stesso tempo del, fenomeno che deve essere spiegato. Per esempio, una spiegazione deduttiva dell'aumento del volume di un palloncino riscaldato potrebbe assumere la seguente forma:

$$\left(\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \right) \quad \text{Legge di Gay-Lussac}$$

$m, P = k$

Massa e pressione sono costanti Condizioni di ritorno

$$\begin{array}{l} T_2 = 2T_1 \quad \text{Condizioni "iniziali"} \\ \therefore V_2 = 2V_1 \end{array}$$

Analizzando lo schema deduttivo della spiegazione, Hempel e Oppenheim sottolinearono che numerose spiegazioni *bona fide* scientifiche non corrispondono allo

schema deduttivo. È il caso, per esempio, di molte spiegazioni basate su leggi statistiche.⁹

Un esempio fornito da Hempel in un saggio successivo è:

Un'elevata percentuale di pazienti con infezioni da streptococco si rimettono entro 24 ore dalla somministrazione di penicillina.
Jones ha avuto un'infezione da streptococco e gli è stata somministrata penicillina.

∴ Jones si è rimesso dall'infezione da streptococco entro 24 ore dalla somministrazione di penicillina.¹⁰

Questa argomentazione esplicativa non ha cogenza deduttiva. Anzi, le premesse forniscono solo un forte sostegno induttivo alla conclusione.

In tal modo Hempel riconosceva che la sussunzione sotto leggi generali può essere ottenuta deduttivamente o induttivamente. Tuttavia affermò coerentemente che ogni spiegazione scientifica accettabile implica la sussunzione deduttiva o induttiva di un *explanandum* sotto leggi generali.

Generalizzazioni nomiche e generalizzazioni accidentali

Secondo la concezione ortodossa, una spiegazione scientifica riuscita sussume il suo *explanandum* sotto leggi generali. Ma come possiamo essere sicuri, in un caso particolare, che le premesse comprendano delle leggi? Accettiamo la seguente argomentazione come spiegazione del risultato del controllo di una fiamma verde:

Tutte le fiamme influenzate dal bario sono verdi.
Questa è una fiamma influenzata dal bario.

∴ Questa fiamma è verde.

Ma neghiamo il potere esplicativo della seguente argomentazione:

Tutte le monete che ora sono nella mia tasca contengono rame.
Questa moneta ora è nella mia tasca.

∴ Questa moneta contiene rame.

Le due argomentazioni hanno forma identica. Eppure la prima sussume il suo *explanandum* nell'ambito di una legge valida, mentre la seconda sussume il suo *explanandum* sotto una generalizzazione "meramente accidentale".

I teorici ortodossi accettavano la posizione di Hume sulle leggi scientifiche. R.B. Braithwaite, per esempio, dichiarava:

Concordo con la parte principale della tesi di Hume, la parte che asserisce che gli obiettivi universali della legge sono proprio universali di fatto, e che in natura non vi è più alcun elemento di connessione necessaria.¹¹

Braithwaite notava, comunque, che vi sono alcune difficoltà nell'analisi humeana della nozione di legge. Una difficoltà è che tale analisi sfuma la distinzione tra universali legisimili e universali accidentali.

Supponiamo che due orologi a pendolo simili vengano disposti in maniera da essere sfasati con un angolo di 90°, affinché i ticchettii dei due orologi siano in costante congiunzione sequenziale. Se le leggi scientifiche *non fossero altro che* asserzioni di congiunzione costante, allora la seguente asserzione sarebbe una legge: "Per tutti gli x , se x è il ticchettio dell'orologio 1, allora x è un ticchettio seguito da un ticchettio dell'orologio 2".

Ora supponiamo che i pendoli dei due orologi vengano fermati. È lecito affermare che la "legge" sostiene il condizionale controfattuale: "Se l'orologio 1 dovesse ticchettare, allora questo ticchettio sarebbe seguito da un ticchettio dell'orologio 2"? Presumibilmente no.

Le "leggi scientifiche genuine", dal canto loro, sostengono condizionali controfattuali. L'asserto "tutte le fiamme influenzate dal bario sono verdi" in effetti sostiene l'affermazione secondo cui "se quella fosse una fiamma influenzata dal bario, allora sarebbe verde".

Oltre a ciò, un certo numero di leggi scientifiche sembrano non riguardare affatto congiunzioni costanti, dato che esse si riferiscono a situazioni idealizzate che non si verificano. L'equazione fondamentale dei gas perfetti è una legge di questo tipo. Anche se non ci sono gas nei quali le molecole abbiano estensione zero e i campi di forza intermolecolari siano pari a zero, se ipoteticamente esistesse un simile gas, allora la sua pressione, il suo volume e la sua temperatura sarebbero così correlati:

$$\frac{PV}{V} = \text{costante}$$

Dunque esiste una differenza palese tra universali legisimili e universali accidentali. Gli universali legisimili sostengono condizionali controfattuali, gli universali accidentali no. Ma che cosa significa "sostenere" in questo contesto? Secondo Braithwaite, questo "sostegno" risulta dal rapporto deduttivo degli universali legisimili con generalizzazioni di livello superiore. A suo avviso, una proposizione universale condizionale b è legisimile se b

ricorre in un sistema scientifico deduttivo stabilito come deduzione da ipotesi di livello superiore, sostenute da un'evidenza empirica che non sia evidenza empirica diretta a favore di b .¹²

La generalizzazione riguardante il colore della fiamma del bario è una conseguenza deduttiva dei postulati della teoria atomica. E vi sono ampie prove che confermano questi postulati (in aggiunta al colore delle fiamme influenzate dal bario). Viceversa, non si conosce alcun rapporto deduttivo per la generalizzazione sui due orologi.

Ernest Nagel sosteneva in termini analoghi una posizione humeana sulle leggi scientifiche, e affermava che le generalizzazioni legisimili possono essere distinte dalle generalizzazioni accidentali senza fare alcun riferimento a nozioni modali quali "necessità" e "possibilità". Nagel elencava quattro caratteristiche degli universali legisimili:¹³

1. Un universale non acquista status legisimile esclusivamente in virtù del fatto di essere vacuamente vero. Se i marziani non esistono, allora è vero che "tutti i marziani sono verdi". Ma la verità conseguita in questo modo non conferisce status legisimile a un'asserzione. Naturalmente vi sono leggi vacuamente vere. Ma il loro status di leggi è determinato dal loro rapporto logico con altre leggi in una teoria scientifica.
2. Non è noto che la portata della predicazione di un universale legisimile sia preclusa a ulteriore incremento. La portata della predicazione di un universale accidentale, per contro, è spesso notoriamente chiusa. Un caso specifico è "Tutte le monete che sono nella mia tasca contengono rame".
3. Gli universali legisimili non restringono a specifiche regioni dello spazio o del tempo gli individui che soddisfano le condizioni antecedenti e conseguenti.
4. Gli universali legisimili trovano spesso sostegno indiretto nell'evidenza che sostiene in modo diretto altre leggi nello stesso sistema scientifico deduttivo. Per esempio, se le leggi L_1 , L_2 e L_3 sono congiuntamente derivabili all'interno di un sistema assiomatico interpretato, allora l'evidenza che sostiene direttamente L_2 e L_3 fornisce indirettamente sostegno a L_1 . Per esempio, dato che la legge di Boyle, la legge di Charles e la legge della diffusione di Graham sono tutte conseguenze deduttive all'interno della teoria cinetica dei gas, la legge di Boyle è indirettamente confermata dall'evidenza che conferma la legge di Charles o quella di Graham. Gli universali accidentali, per contro, non godono di questo genere di sostegno indiretto.

La conferma delle ipotesi scientifiche

Nel 1945 Hempel sostenne che vi sono tre fasi nella valutazione di un'ipotesi scientifica:¹⁴

1. Accumulare resoconti osservativi che enunciano i risultati di osservazioni o esperimenti.
2. Accertare se questi resoconti osservativi confermino, disconfermino o siano neutrali nei confronti dell'ipotesi.
3. Decidere se accettare, respingere o sospendere il giudizio sull'ipotesi alla luce di questa evidenza confermatrice o disconfermatrice.

Hempel delineò un programma di ricerca per la seconda e la terza di queste fasi. La fase 2 è il problema della conferma. Hempel affermava che si tratta di un problema di logica applicata. Tanto i resoconti osservativi quanto le ipotesi sono enunciati, e i rapporti tra enunciati possono essere espressi con le categorie della logica formale. Quello che occorre fare è formulare una definizione di "o conferma H " nei termini di concetti logici come coerenza o implicazione. Armato di una definizione adeguata, il filosofo della scienza sarà a quel punto in grado di decidere se un particolare resoconto osservativo confermi o meno un'ipotesi.

LA CONFERMA QUALITATIVA: IL PARADOSSO DEI CORVI

Nel 1945 Hempel aveva rilevato il carattere paradossale della nozione di «conferma qualitativa». Si consideri la relazione tra l'ipotesi "tutti i corvi sono neri" e asserzioni che registrano le osservazioni. La nostra intuizione ci dice che un corvo nero suffraga l'ipotesi mentre un corvo arancione la confuterebbe. Fin qui, tutto bene. Ma le proposizioni seguenti sono tutte logicamente equivalenti:

- 1) $(x) (Rx \supset Bx)$
- 2) $(x) (\sim Rx \vee Bx)$
- 3) $(\sim Bx \supset \sim Rx)$

Appare plausibile ritenere che se un resoconto osservativo conferma una generalizzazione, allora conferma anche qualunque enunciato logicamente equivalente a essa. Ma una scarpa nera ($\sim Ra \cdot Ba$) conferma 2),* e un guanto bianco ($\sim Ra \cdot \sim Ba$) conferma 3). Se accettato un principio di equivalenza, allora l'ipotesi del corvo è confermata sia dalla scarpa nera sia dal guanto bianco. Questo è un risultato paradossale: suggerisce che sarebbe appropriato praticare l'ornitologia in casa!

Hempel sottolineò che il "paradosso dei corvi" risulta quando vengono affermati quattro principi. Vale a dire:

1. Il principio della conferma mediante esempi (criterio di Nicod).

* Poiché 2) asserisce che "data una cosa qualsiasi nell'universo, o non è un corvo oppure è nera", si può considerare qualsiasi oggetto nero che non sia un corvo un esempio di 2).

2. Il principio di equivalenza.
3. L'assunto in base a cui molte importanti leggi scientifiche sono proposizioni condizionali universali adeguatamente espresse in termini simbolici " $(x) (Ax \supset Bx)$ ".
4. Le nostre intuizioni riguardo a ciò che dovrebbe avere il valore di esempio confermatrice.

Per risolvere il paradosso, è necessario ricusare uno o più dei quattro principi. Hempel affermava che il principio della conferma mediante esempi e il principio di equivalenza sono profondamente radicati nella pratica scientifica e che molte leggi scientifiche importanti vengono correttamente rappresentate come proposizioni condizionali universali. La sua posizione riguardo al paradosso dei corvi era che noi siamo fuorviati dalle nostre intuizioni. In primo luogo, crediamo erroneamente che sia valida esclusivamente "riguardo" ai corvi. In realtà non è così. Essa è valida, semmai, "riguardo" a tutti gli oggetti dell'universo, poiché asserisce che "data una qualunque cosa nell'universo, se essa è un corvo, allora è anche nera". Una formulazione equivalente è $(x) [\sim Rx \vee Bx]$, la quale asserisce che "data una qualunque cosa nell'universo, o non è un corvo o è nera".

Un secondo motivo per cui le nostre intuizioni riguardo alla conferma sono spesso errate è che quando giudichiamo se un'asserzione riguardante le osservazioni confermi una generalizzazione, ci appelliamo tacitamente alla nostra conoscenza di sfondo. Per esempio sappiamo che vi sono molti più oggetti non neri che corvi. E sappiamo anche che le nostre possibilità di scoprire un caso disconfermatrice ($\sim Ra \cdot \sim Ba$) sono maggiori se esaminiamo i corvi quanto al loro colore, di quanto non sarebbero se esaminassimo gli oggetti non neri quanto alla loro "corvitudine". Dato che il rischio di falsificazione è maggiore se ci concentriamo sulla classe dei corvi, considereremo un caso in cui un corvo ha superato il controllo ($Ra \cdot Ba$) come un caso confermatrice. D'altro canto non siamo stupiti se un oggetto non nero supera il controllo ($\sim Ra \cdot \sim Ba$).

Ma supponiamo di sapere che ci sono solo dieci oggetti nell'universo, che nove di quei dieci sono corvi, e che solo uno dei dieci è non nero. Se queste fossero le nostre conoscenze di sfondo, allora le nostre intuizioni riguardo alla conferma sarebbero diverse. Cercheremmo l'evidenza confermatrice per "tutti i corvi sono neri" esaminando l'oggetto non nero quanto alla sua corvitudine. Hempel concludeva che il rapporto tra le generalizzazioni e i loro esempi confermatrice non è paradossale per un'intuizione adeguatamente educata. Se si tiene a mente la forma logica di una generalizzazione universale, e se si esclude la conoscenza di sfondo riguardo a dimensioni di classe relative, allora non vi è paradosso. Hempel ribadiva che le asserzioni riguardo ai corvi neri, le asserzioni riguardo alle scarpe nere e le asserzioni riguardo ai guanti bianchi contano tutte come evidenza confermatrice di "tutti i corvi sono neri".¹⁶

CARNAP E LA CONFERMA QUANTITATIVA

Rudolf Carnap giunse alla conclusione che le prospettive di una teoria della conferma qualitativa erano poco promettenti, e cercò di formulare una teoria per misurare il *grado* di conferma fornita all'ipotesi H dall'evidenza e . Il progetto di Carnap era di:

1. Specificare la struttura e il vocabolario di un linguaggio artificiale nel quale potesse essere definito " $c(H, e) = k$ ";*
2. elencare le risorse della teoria matematica della probabilità per assegnare valori a k ; e
3. argomentare che i valori calcolati sono coerenti con le nostre intuizioni riguardo alla conferma.¹⁷

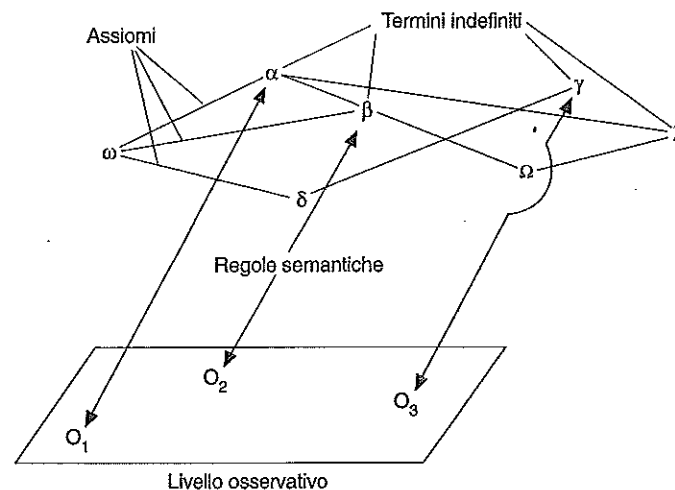
Sfortunatamente le "funzioni c " elaborate da Carnap assegnano il valore " $c = 0$ " a quei condizionali universali per cui sono possibili esempi di sostituzione infinitamente numerosi. Questo è contro-intuitivo. Crediamo, per esempio, che il grado di conferma della legge di attrazione gravitazionale da parte dell'evidenza sia considerevolmente maggiore di 0. Questo Carnap lo riconosceva, e insisteva che quando uno scienziato impiega una generalizzazione universale, non deve impegnarsi nei confronti della verità della generalizzazione su un gran numero di esempi. È sufficiente che la generalizzazione continui a valere per il prossimo esempio. Carnap fu in grado di dimostrare che questa conferma del "prossimo esempio" di una generalizzazione universale si avvicina a 1 via via che crescono le dimensioni del campione, sempre che non vi siano esempi confutanti nel campione stesso.¹⁸ Riguardo all'adeguatezza di questo spostamento dell'attenzione dalla "conferma" alla "conferma del prossimo esempio" le opinioni erano divise.

La struttura delle teorie scientifiche

Nel dopoguerra le analisi sulla struttura delle teorie scientifiche erano basate sulla distinzione campbelliana tra un sistema assiomatico e le sue applicazioni all'esperienza. Carnap riaffermò la concezione "ipotesi più dizionario" delle teorie scientifiche nel suo influente contributo pubblicato nell'*International Encyclopedia of Unified Science* nel 1939. Carnap affermava che « qualsiasi teoria fisica, e analogamente

* Gli ingredienti del linguaggio artificiale includono:

- 1) connettivi vero-funzionali e quantificatori;
- 2) costanti individuali che nominano individui;
- 3) predicati primitivi che siano in numero finito, coordinati e logicamente indipendenti tra loro; e
- 4) regole di formazione per gli enunciati e regole per l'inferenza deduttiva.



L'immagine delle teorie come "rete di sicurezza" secondo Hempel.

l'intera fisica, può [...] essere presentata sotto forma di un sistema interpretato, che consiste di uno specifico calcolo (sistema assiomatico) e di un sistema di regole semantiche in vista della sua interpretazione».¹⁹

Questa affermazione fu riproposta da Philipp Frank e Carl Hempel nel saggio successivo della stessa enciclopedia.²⁰

La versione hempeliana della concezione "ipotesi più dizionario" presenta qualche somiglianza con le reti di sicurezza usate per salvaguardare l'incolumità dei trapezisti al circo. Il sistema assiomatico è una rete sostenuta dal basso da pali ancorati al livello osservativo del linguaggio scientifico.²¹

Sulla scorta di Campbell, Hempel osservava che non è necessario che ogni nodo della rete abbia un punto di sostegno tra le asserzioni del livello osservativo. Se le cose stanno così, sorge naturalmente la questione: quali sono le condizioni in cui la rete è sicuramente ancorata? Come si fa a sapere se c'è un numero sufficiente di nessi abbastanza forti tra la rete e il piano dell'osservazione? La robustezza del rapporto di ancoraggio è massima per le "teorie matematiche" in cui a ciascun termine del calcolo viene assegnata una regola semantica. La geometria fisica è un esempio di una teoria di questo tipo. Ciascuno dei termini del calcolo ("punto", "linea", "congruenza"...) è correlato con operazioni fisiche. All'estremo opposto, si potrebbe immaginare una "teoria meccanica" il cui calcolo sia connesso agli osservabili da un'unica regola semantica. Una "teoria" del genere sarebbe empiricamente significativa?

Hempel suggerì che si sarebbe potuto dare una risposta soddisfacente a questo quesito qualora fosse stata disponibile un'adeguata teoria della conferma. Secondo Hempel, una teoria della conferma adeguata conterrebbe regole che, per ogni teorema (T) e per ogni enunciato del linguaggio osservativo che registra l'evidenza (E), attribuiscono uno specifico livello di conferma a T tenuto conto di E . Una teoria per la quale valessero in questo modo le regole di conferma sarebbe empiricamente significativa, e le regole semantiche di una teoria siffatta avrebbero forza sufficiente per ancorare il suo calcolo. Comunque Hempel ammetteva che nessuna teoria della conferma disponibile a quell'epoca era adeguata allo scopo.²² Di conseguenza la sua proposta (nel 1952) di misurare l'adeguatezza dell'interpretazione empirica dei calcoli mediante una teoria della conferma aveva lo status di un programma per le indagini future.

I termini teorici per cui non vi sono voci del dizionario vengono nondimeno ritenuti empiricamente significativi. Braithwaite proponeva che la significanza empirica venisse accordata procedendo verso l'alto, dalle asserzioni sugli osservabili fino agli assiomi.²³ Nella teoria quantistica, per esempio, sono i teoremi sulle densità di carica degli elettroni, sulle densità di dispersione e simili a conferire significanza empirica alla "funzione Ψ ". Noretta Koertge ha osservato che la posizione del ricostruzionismo logico è che il significato empirico percola verso l'alto per mezzo di un'"azione capillare" dal terreno del livello osservativo del linguaggio scientifico.²⁴

Sostituzione di teorie: crescita per incorporazione

La posizione ortodossa era quella secondo cui spiegare un fenomeno significa dimostrare che la sua descrizione segue logicamente (di solito deduttivamente) dalle leggi e dalle asserzioni delle condizioni antecedenti. Analogamente, spiegare una legge significa mostrare che essa segue logicamente da altre leggi.²⁵

Applicato alla storia della scienza, questo interesse per la ricostruzione logica della relazione fra leggi si trovò riflesso nel particolare rilievo attribuito alla «crescita per incorporazione». Ernest Nagel osservava che

il fenomeno che una teoria relativamente autonoma venga assorbita da una qualche teoria più vasta, o ridotta a essa, è innegabilmente una caratteristica ricorrente nella storia della scienza moderna.²⁶

Nagel distingueva due tipi di riduzione. Il primo tipo è la riduzione omogenea, in cui una legge viene successivamente incorporata in una teoria che utilizza "sostanzialmente gli stessi" concetti che compaiono nella legge. Nagel proponeva che l'"assorbimento" della legge di Galilei sulla caduta dei gravi nella meccanica newtoniana

fosse considerata appunto una riduzione di questo tipo.²⁷ Secondo Nagel, la legge di Galilei era stata ridotta ai, e spiegata dai, principi della meccanica newtoniana.

Un secondo tipo di riduzione, ancora più interessante, è la sussunzione deduttiva di una legge da parte di una teoria che manca di alcuni dei concetti con i quali la legge è espressa. Spesso la legge sussunta fa riferimento a proprietà macroscopiche degli oggetti e la teoria riducente fa riferimento alla microstruttura degli oggetti. Un esempio a cui Nagel dedicò una qualche attenzione è la riduzione della termodinamica classica alla meccanica statistica.²⁸ Nelle leggi della termodinamica compaiono concetti che non sono compresi tra quelli della meccanica statistica. Tra questi concetti vi sono "temperatura" ed "entropia". Eppure James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann riuscirono a dedurre le leggi della termodinamica classica dalle premesse che includevano leggi statistiche sui moti delle molecole.

Riflettendo su questi casi tipici di riduzione eterogenea, Nagel cercava di scoprire le condizioni necessarie e sufficienti per la riduzione di un settore della scienza a un altro, e non mancava di rilevare che le condizioni per la riduzione possono essere formulate solo per settori della scienza che siano stati formalizzati. Un requisito della formalizzazione è che i significati dei termini che compaiono nelle teorie in questione siano fissati da regole d'uso appropriate a ogni disciplina. Posto che questo sia proprio ciò che avviene, e che le relazioni di dipendenza logica all'intero di ciascuna teoria siano state enunciate, queste sono le condizioni necessarie per la riduzione di T_2 a T_1 .²⁹

LE CONDIZIONI FORMALI PER LA RIDUZIONE

1. *Connettibilità*: per ciascun termine che compare in T_2 ma non in T_1 , c'è un'asserzione di connessione che collega il termine con i termini teorici di T_1 .
2. *Derivabilità*: le leggi sperimentali di T_2 sono conseguenze deduttive degli assunti teorici di T_1 .

LE CONDIZIONI NON-FORMALI PER LA RIDUZIONE

3. *Sostegno empirico*: gli assunti teorici di T_1 sono supportati dalle prove in aggiunta a quelle che supportano T_2 .
4. *Fecundità*: gli assunti teorici di T_1 suggeriscono ulteriori sviluppi di T_2 .

IL PROGRESSO PER INCORPORAZIONE

La riduzione riuscita è incorporazione. Una teoria viene assorbita in una seconda teoria che ha un campo di applicazione più vasto. Questo sembra indicare che il progresso nella scienza è molto simile alla creazione di una serie di matrisoske russe.

In saggi scritti negli anni venti del XX secolo e anche in seguito, Niels Bohr fu il

campione di questa concezione del progresso scientifico. Bohr affermava che la concezione delle matrioske è un'applicazione metodologica feconda del Postulato della Corrispondenza.*

Applicare il Postulato della Corrispondenza come criterio di accettabilità significa richiedere a ogni candidato a succedere alla teoria T : 1) che la nuova teoria abbia un contenuto controllabile maggiore di T e 2) che la nuova teoria sia in accordo asintotico con T nell'ambito in cui T è ben confermata.

Joseph Agassi ha espresso nei seguenti termini questo ampliamento metodologico del Postulato della Corrispondenza:

Ci sono due requisiti dichiaratamente metodologici che possono essere avanzati per ogni teoria appena introdotta: dovrebbe produrre la teoria che essa viene a rimpiazzare come una sua conseguenza, o una sua prima approssimazione, e anche come un caso speciale. Il primo requisito equivale a nulla più che alla richiesta che la nuova teoria spieghi il successo della precedente. Il secondo requisito equivale alla richiesta che la nuova teoria sia più generale e controllabile indipendentemente.³¹

* Il Postulato della Corrispondenza era un assioma della teoria dell'atomo di idrogeno di Bohr (1913). Al fine di spiegare lo spettro osservato dell'idrogeno, Bohr avanzò l'ipotesi che l'elettrone dell'idrogeno potrebbe esistere solo in certe orbite stabili, le cui quantità di moto angolari sono date da $mvr = nh/2\pi$, dove m è la massa dell'elettrone, v la sua velocità, r è il raggio della sua orbita, h è la costante di Planck e n è un numero intero positivo. La transizione da un'orbita stabile a un'altra è accompagnata dall'emissione o dall'assorbimento di energia (vale a dire che la transizione da $n = 3$ a $n = 2$ produce la prima linea spettrale della serie di Balmer). Il Postulato di Corrispondenza stabilisce che, entro il limite in cui n si avvicina all'infinito e l'elettrone non è più legato al nucleo, l'elettrone obbedisce alle leggi dell'elettrodinamica. Incoraggiato dal successo della sua teoria dell'atomo di idrogeno, Bohr affermò che una versione generalizzata del Postulato di Corrispondenza costituisce un criterio di accettabilità per le teorie della meccanica quantistica. Secondo Bohr, quale che sia la forma di una teoria del dominio quantistico, essa deve essere in accordo asintotico con l'elettrodinamica classica negli ambiti in cui la teoria classica ha dimostrato di essere adeguata.³⁰

13. Attacco all'ortodossia

<i>Esiste un linguaggio osservativo indipendente dalle teorie?</i>	186
<i>I dubbi sul modello a legge di copertura della spiegazione scientifica</i>	188
<i>Una concezione non asserzionale delle teorie</i>	190
<i>Il "nuovo enigma dell'induzione" di Goodman</i>	192
<i>I dubbi sulla concezione del progresso scientifico come una serie di matrioske</i>	194
LA TESI DELL'INCOMMENSURABILITÀ DI FEYERABEND	194
CRESCITA PER INCORPORAZIONE O ROVESCIAMENTO RIVOLUZIONARIO?	195
<i>La morte dell'ortodossia secondo Feyerabend e Feigl</i>	197

PAUL K. FEYERABEND (1924-1994) conseguì il dottorato in filosofia all'Università di Vienna e insegnò all'Università della California. Fu un "anarchico" dichiarato, che si oppose alla ricerca di regole per la sostituzione delle teorie e alle "ricostruzioni razionali" del progresso scientifico. La sua posizione era che «qualsiasi cosa può andare bene», e che il tratto distintivo della creatività nella scienza è la proliferazione delle teorie. Coerentemente con questo orientamento, intitolò la sua opera principale *Contro il metodo* (1975).

NELSON GOODMAN (1906-1998) conseguì il dottorato in filosofia a Harvard e insegnò all'Università della Pennsylvania, a Brandeis e a Harvard. Fornì importanti contributi alla logica induttiva, all'epistemologia e alla filosofia dell'arte. Scrisse *La struttura dell'apparenza* (1951), *Fatti, ipotesi e previsioni* (1955) e *Linguaggi dell'arte* (1968).

STEPHEN TOULMIN (1922-) ha conseguito il dottorato in filosofia a Oxford e ha insegnato alle Università di Leeds, del Michigan, di Chicago e all'Università della California. Ha scritto ampiamente su temi di storia e filosofia della scienza, epistemologia ed etica. Nelle sue opere più recenti ha delineato una ricostruzione della crescita scientifica in categorie prese a prestito dalla teoria dell'evoluzione organica.

HERBERT FEIGL (1902-1988) prese parte alle attività del Circolo di Vienna (1924-1930) in qualità di amico e sodale di Moritz Schlick e Rudolf Carnap. Si trasferì negli Stati Uniti nel 1930 per