

ché, malgrado le sue conquiste senza dubbio rimarchevoli dal punto di vista della sistemazione. Simili punti di vista sono stati espressi da molti altri pensatori, sia nelle scienze naturali che in quelle sociali.

Sarebbe negare l'evidenza il negare che importanti sviluppi nella storia della scienza sono dipesi dal desiderio di spiegare nuovi domini di fatti in termini di qualcosa già familiare. Per riconoscere l'influenza di questa concezione della spiegazione, basti solo ricordare l'uso persistente di familiari modelli meccanici nella costruzione di spiegazioni dei fenomeni del calore, della luce, della elettricità, e perfino del comportamento umano. Purtroppo, le spiegazioni vengono talvolta giudicate soddisfacenti anche se non effettuano una riduzione al familiare del non-familiare. Quando si spiega l'effetto di sbiadimento dei colori ad opera del sole in termini di ragionamenti fisici e chimici sulla composizione della luce e delle sostanze colorate, la spiegazione non viene respinta come insoddisfacente, anche se qui è il familiare ciò di cui si rende conto servendosi di nozioni che per la maggior parte degli uomini sono del tutto non familiari. Di più, la concezione della spiegazione che stiamo discutendo è in palese disaccordo col fatto che in tutta la storia della scienza sono state spesso introdotte ipotesi esplicative che postulano interrelazioni tra certi elementi, ove interrelazioni ed elementi sono originariamente strani e talvolta perfino appaiono paradossali.

Si devono tuttavia notare due brevi punti. Se una spiegazione soddisfa la condizione epistemologica testé discussa, allora, anche se le sue premesse esplicative possono essere state ad un certo momento non familiari, esse devono avere alla fine raggiunto lo stato di supposizioni ben sostenute da prove. Di conseguenza, anche se la spiegazione non riduce il non familiare a ciò che in origine era familiare, essa è accettabile perché le premesse sono fondate fermamente su prove che hanno cessato di essere non familiari per una certa parte della comunità scientifica. In secondo luogo, anche se le premesse esplicative possono far uso di idee del tutto non familiari, tali idee offrono spesso analogie importanti con nozioni impiegate in relazione ad argomenti già diventati familiari. Le analogie servono ad assimilare il nuovo al vecchio, e fanno in modo che le nuove premesse esplicative non appaiano radicalmente non familiari. Ma dobbiamo rimandare a un altro capitolo una più completa discussione sul ruolo dell'analogia nello sviluppo di estesi sistemi di spiegazione.

La struttura logica delle leggi scientifiche

I requisiti necessari considerati fin qui, per l'adeguatezza delle spiegazioni, sono stati discussi riferendoci solo incidentalmente alla natura delle relazioni asserite dalle leggi o dalle teorie scientifiche. Si è generalmente supposto che le leggi abbiano la forma di condizionali generalizzati, nel caso più semplice rappresentati dallo schema: 'per ogni x , se x è A , allora x è B ' (o, come alternativa, 'tutti gli A sono B ').¹

Non è però assolutamente il caso di considerare ogni affermazione vera avente tale forma come una legge di natura. In ogni modo, una spiegazione proposta, anche se sia conforme ai requisiti già detti, viene frequentemente respinta come non soddisfacente per almeno due ragioni:

¹ L'assunzione che questo semplice schema sia una rappresentazione adeguata della forma logica delle leggi scientifiche è stata ripetutamente fatta nei capitoli precedenti, e verrà frequentemente fatta in tutto il volume. Tale assunzione tuttavia è adottata soprattutto allo scopo di evitare complessità che sorgerebbero se si adottasse uno schema meno semplice ma più realistico — complessità che sono di scarsissimo rilievo per i punti principali in discussione. Vi sono senza dubbio molte leggi scientifiche che mostrano la semplice struttura formale sopra indicata. Ma vi sono anche molte leggi la cui forma logica è più complicata — fatto di considerevole importanza nell'analisi della struttura razionale dei procedimenti induttivi e verificatori nella scienza, ma solo di interesse secondario nel presente contesto della discussione.

Un tipo di complessità nella struttura formale delle leggi è illustrato dai due esempi seguenti. Il contenuto della legge che il rame riscaldato si dilata è reso più esplicito se la si formula così: 'per ogni x e per ogni y , se x è il rame e se x è riscaldato al tempo y , allora x si dilata al tempo y '. Come in altri condizionali (o formulazioni "se-allora"), la clausola introdotta dal 'se' è nota come "antecedente", e quella introdotta da 'allora' come "conseguente". Il presente esempio contiene anche come "prefissi" le due espressioni 'per ogni x ' e 'per ogni y ' (tecnicamente note come "quantificatori univesali"), a differenza del semplice schema del testo, che contiene un solo quantificatore universale. Così, la cosiddetta "legge della biogenesi", per cui la vita proviene sempre da vita preesistente, può venir espressa come segue: 'per ogni x , vi è un y , tale che, se x è un organismo vivente, allora y è un genitore di x '. In questo caso, l'asserzione non contiene solo il quantificatore universale 'per ogni x ', ma anche l'espressione 'esiste un y ' (chiamata "quantificatore esistenziale"). Questa asserzione contiene più di un quantificatore, e per di più i quantificatori in essa contenuti sono di tipo diverso (o "misto"). Una gran parte di leggi quantitative, specialmente in fisica teorica, contengono vari quantificatori, spesso di tipo misto. Non appare tuttavia verosimile che una asserzione normalmente possa venir considerata una legge, se non contiene almeno un quantificatore universale, di solito come prefisso iniziale. È per questa ragione che si può ritenere che la supposizione adottata nel testo non risulti eccessivamente semplificatrice.

le premesse universali di una spiegazione, malgrado possano esser riconosciute come vere, possono per una ragione o per l'altra essere giudicate "leggi" non genuine; e, malgrado possano esser state ammesse come leggi scientifiche, possono non presentare qualche ulteriore condizione, come quella di essere leggi "causali".

Si supponga, per esempio, che, in risposta alla domanda perché una certa vite v sia arrugginita, venga detto che tutte le viti dell'automobile di Tizio sono arrugginite e che v è una vite dell'automobile di Tizio. È probabile che tale spiegazione venga respinta come del tutto insoddisfacente, per la ragione che la premessa universale non è neanche una legge di natura, per non dir niente del fatto che non è una legge causale. Sotto l'obiezione alla spiegazione proposta si trova quindi una distinzione *prima facie* tra affermazione universale "avente il tipo di una legge" (cioè affermazione che, se vera, possa essere qualificata con la designazione "legge di natura") e affermazione universale non considerabile come una legge.

D'altra parte, una spiegazione proposta per il fatto che un dato uccello u è nero, consistente nel dire che tutti i corvi sono neri e che u è un corvo, viene talvolta scartata come inadeguata per la ragione che anche se la premessa universale viene considerata come legge di natura, essa non spiega "realmente" perché u è nero. Ora, questa obiezione, in una sua interpretazione, mostra di confondere due cose differenti: la spiegazione del fatto che u è nero, e la spiegazione, distinta dalla precedente, della legge che tutti i corvi sono neri. All'obiezione può quindi essere data la seguente risposta decisiva: mentre la spiegazione in esame non spiega perché tutti i corvi siano neri, essa spiega perché u è nero; la spiegazione infatti dimostra almeno che il colore delle piume di u non è una peculiarità di u , bensì un tratto che u ha in comune con qualsiasi altro uccello che, come lui, sia un corvo. L'obiezione può però venir intesa anche come una espressione di insoddisfazione per la spiegazione proposta circa il fatto che le piume di u sono nere, sulla base che la legge ipotizzata non rende conto causalmente del colore dell'uccello.

Questi esempi, che illustrano una vasta anche se tacita accettazione di condizioni perché le spiegazioni risultino soddisfacenti in aggiunta a quelle già discusse, invitano così a considerare alcune delle caratteristiche che si suppone distinguano le leggi naturali da altri condizionali universali, e le leggi causali da quelle non causali. Dobbiamo esaminare diverse questioni, che conducono molto lontano, generate da queste distinzioni.

I. Universalità accidentale e universalità nomica

La denominazione 'legge di natura' (o altre simili, come 'legge scientifica', 'legge naturale', o semplicemente 'legge') non è un termine tec-

nico che abbia la sua definizione in qualche scienza sperimentale; essa viene spesso usata, specialmente nel discorso comune, con un senso altamente onorifico ma senza un contenuto preciso. Indubbiamente esistono molte asserzioni che sono caratterizzate senza esitazione come 'leggi' dalla maggior parte degli appartenenti alla comunità scientifica, proprio come esiste una classe ancora più grande di asserzioni a cui tale denominazione è applicata raramente o addirittura mai. Gli scienziati sono invece in disaccordo sull'opportunità di attribuire a molte asserzioni il titolo di 'legge di natura', e perfino l'opinione di uno stesso individuo sul fatto che una data asserzione sia una legge può variare. Questo è in modo evidente il caso di varie affermazioni teoriche, di cui si è parlato nel capitolo precedente, che vengono talvolta intese come se fossero in fondo solo regole procedurali e perciò né vere né false, benché da altri siano considerate come esempi per eccellenza di leggi di natura. Le opinioni sono divergenti anche sulla questione se asserzioni di regolarità che contengono riferimenti a individui particolari (o a gruppi di tali individui) meritino il titolo di 'legge'. Per esempio, alcuni scrittori hanno discusso se sia appropriata tale designazione per l'asserzione che i pianeti si muovono su orbite ellittiche intorno al Sole, per il fatto che tale asserzione fa menzione di un corpo particolare. Dubbi simili sorgono sull'uso della denominazione per asserzioni intorno a regolarità statistiche; ed è anche stato messo in dubbio se le formulazioni riguardanti delle uniformità di comportamento sociale umano (per esempio in economia o in linguistica) possano venir chiamate propriamente 'leggi'. L'espressione 'legge di natura' è indubbiamente vaga. Quindi qualsiasi spiegazione del suo significato che proponga una netta demarcazione tra asserzioni considerabili come leggi e asserzioni non considerabili come tali è arbitraria.

Vi è perciò qualcosa di più che un aspetto di inutilità nei tentativi ricorrenti di definire con grande precisione logica che cosa sia una legge di natura: tentativi spesso basati sulla tacita premessa che un'asserzione sia una legge per il fatto che possiede una "essenza" intrinseca, che la definizione deve rendere articolata. Infatti non solo il termine 'legge' è vago nel suo uso corrente, ma anche il suo significato storico ha subito molti mutamenti. Siamo certamente liberi di designare come legge di natura qualsiasi asserzione vogliamo. Spesso vi è poca coerenza nel modo in cui applichiamo questa denominazione, e il fatto che un'asserzione venga o no *chiamata* una legge porta ben poca differenza al modo in cui essa può venir usata nella ricerca scientifica. Pur tuttavia, i membri della comunità scientifica si accordano abbastanza bene sulla applicabilità del termine a una classe di asserzioni universali considerevole, benché vagamente delimitata. Vi è quindi una certa base per supporre che quando si applica tale denominazione, almeno in quei casi in cui il consenso è sicuro, ciò sia regolato dalla sensazione di una differenza nello *status* e nella funzione "obiettivi" di quella classe di asserzioni. Sarebbe ve-

ramente sciocco tentare di dare una definizione ferrea e rigorosamente esclusiva di 'legge naturale'; non è irragionevole indicare alcune delle più importanti ragioni basandosi sulle quali si assegna comunemente a una numerosa classe di asserzioni uno *status* particolare.

La differenza a prima vista riscontrabile tra condizionali universali considerabili o non considerabili come leggi può venir rilevata in vari modi. Un modo efficiente consiste nel richiamare prima di tutto in quale maniera la moderna logica formale interpreta le asserzioni che hanno la forma di condizionali universali. A questo proposito vanno notati due punti. Secondo la logica moderna, tali asserzioni affermano solo quanto segue: ogni individuo, che soddisfi le condizioni descritte nella clausola dell'antecedente del condizionale, soddisfa anche, *in via di fatto*, le condizioni descritte nella clausola del conseguente. Per esempio, in questa interpretazione l'asserzione: 'tutti i corvi sono neri' (che di solito viene trascritta così: 'per ogni x , se x è un corvo, allora x è nero') dice semplicemente che qualsiasi singola cosa a cui capiti di esistere nel passato, nel presente, o nel futuro e che soddisfi le condizioni di essere un corvo è di fatto anche nera. Quindi il significato dato all'asserzione da questa interpretazione è anche contenuto nelle asserzioni equivalenti che non c'è mai stato un corvo che non fosse nero, che non c'è al presente un simile corvo, e che non ci sarà mai. Si dice talvolta che i condizionali universali interpretati in questo modo, cioè in modo tale da asserire solo collegamenti di dati di fatto, formulano solo una "congiunzione costante" di tratti ed esprimono universalità "accidentali" o *de facto*.

Il secondo punto da notarsi in questa interpretazione è una conseguenza immediata del primo. Secondo questa interpretazione un condizionale universale è senz'altro vero, nel caso che non vi siano cose (nel significato onnitemporale di 'siano') che soddisfano le condizioni stabilite nella clausola dell'antecedente. Così, se non esistono unicorni, allora tutti gli unicorni sono neri; ma anche, se non esistono unicorni, allora tutti gli unicorni sono rossi.² Quindi, nella costruzione elevata su di essa nella logica formale, un condizionale universale *de facto* è vero, indipendentemente dal contenuto della sua clausola conseguente, se di fatto si dà il caso che non vi sia niente che soddisfa la sua clausola antecedente. Un simile condizionale universale viene detto vero "a-vuoto" (o "soddisfatto a-vuoto").

² Ciò risulta evidente da quanto segue: se non vi è un x tale che x sia un unicorno, allora è chiaro che non vi è un x , tale che x sia un unicorno il quale non sia nero.

Ma secondo l'interpretazione comune del condizionale universale, quest'ultima asserzione porta immediatamente alla conclusione che per ogni x , se x è un unicorno, allora x è nero. Quindi, se non vi sono unicorni, allora tutti gli unicorni sono neri.

Si può anche dimostrare che un condizionale universale è vero indipendentemente da quale possa essere la sua clausola antecedente, purché qualsiasi cosa di cui si possa con significato affermare quanto dice la clausola conseguente soddisfi quest'ultima. Ma noi ignoreremo le difficoltà che sorgono da quest'ultimo aspetto dei condizionali universali.

Una legge di natura non asserisce nulla di più che una universalità accidentale? La risposta data comunemente è negativa. Infatti si ritiene spesso che una legge esprima tra antecedente e conseguente un nesso "più forte" di una semplice concomitanza in via di fatto. Frequentemente si dice che tale nesso implica qualche elemento di "necessità", benché questa pretesa necessità venga concepita in vari modi e venga descritta con aggettivi qualificativi come 'logica', 'causale', 'fisica' o 'reale'. Ecco l'argomento portato: il dire che 'il rame si dilata sempre se riscaldato' è una legge di natura, significa affermare qualcosa di più che il fatto che non vi è mai stato né mai ci sarà un pezzo di rame scaldato il quale non si dilati. Nel rivendicare per quella affermazione lo *status* di legge, per esempio, non si asserisce semplicemente che non si dà il caso che esista un tale pezzo di rame, ma si asserisce che è "fisicamente impossibile" per un tale pezzo di rame di esistere. Quando si ammette che una tale affermazione è una legge di natura, si intende asserire che il riscaldare un pezzo di rame "rende fisicamente necessaria" la sua espansione. I condizionali universali intesi in tal modo vengono frequentemente descritti come "universali di legge" o "universali nomologici", in quanto esprimono una universalità "nomica".

Si può tracciare in un altro modo la distinzione tra universalità accidentale e universalità nomica. Si supponga che si porti alla nostra attenzione un pezzo di rame r che non sia mai stato scaldato, e che poi venga distrutto in modo che non potrà mai venire scaldato. Si supponga inoltre che dopo la distruzione ci venga domandato se r si sarebbe dilatato se fosse stato scaldato, e che la nostra risposta sia affermativa. E si supponga infine che ci si richieda di dare ragione della nostra risposta. Quale ragione potremmo dare? Una ragione che verrebbe generalmente accettata come irrefutabile è che la legge naturale: 'il rame se scaldato si dilata' garantisce il condizionale controfattuale: 'se r fosse stato scaldato, si sarebbe dilatato'. In realtà molti andrebbero ancora più avanti, sostenendo che l'universale nomologico garantisce il condizionale congiuntivo: 'per ogni x , se x fosse rame e venisse scaldato, allora x si dilaterebbe'.

In effetti le leggi di natura vengono comunemente usate per giustificare condizionali congiuntivi e controfattuali, e questo uso è caratteristico di tutti gli universali nomologici. Inoltre, questa funzione degli universali di legge suggerisce pure che il semplice non darsi il caso che esista alcunché (nel senso onnitemporale) che soddisfi la clausola dell'antecedente di un condizionale nomologico, non è sufficiente a stabilirne la verità. Così, l'ipotesi che l'universo non contenga corpi, i quali non siano sottoposti all'azione di forze esterne, non è sufficiente per stabilire né il condizionale congiuntivo che, se tali corpi esistessero, le loro

³ Cfr. A. C. EWING, *Idealism*, London, 1934, p. 167; C. I. LEWIS, *An Analysis of Knowledge and Valuation*, La Salle, Ill., 1946, p. 228; ARTHUR W. BURKS, *The Logic of Causal Propositions*, "Mind", vol. 60 (1951), pp. 363-82.

velocità rimarrebbero costanti, né l'universale nomologico che ogni corpo non sottoposto all'azione di forze esterne non mantenga una velocità costante.

Invece l'universale palesemente accidentale 'tutte le viti dell'automobile di Tizio sono arrugginite' non giustifica il condizionale congiuntivo 'per ogni x , se x fosse una vite dell'automobile di Tizio, x sarebbe arrugginita'. Certamente nessuno potrebbe sostenere sulla base di questo universale *de facto* che, se venisse inserita nell'automobile di Tizio una particolare vite di ottone che in questo momento stesse sullo scaffale di un negozio, questa vite sarebbe arrugginita. Questa differenza *prima facie* tra universalità accidentale e nomica può venir brevemente riassunta nella formula: un universale di legge "sorregge" un condizionale congiuntivo, mentre un universale accidentale no.

II. Le leggi sono logicamente necessarie?

Nessuno seriamente mette in discussione che nel discorso comune e nell'azione pratica si riconosca una distinzione simile a quella indicata con le denominazioni universalità 'accidentale' e universalità 'nomica'. La questione in discussione è se le differenze riscontrabili a prima vista, da noi notate, richiedano che si accetti la "necessità" associata agli universali di legge come qualcosa di originario o se l'universalità nomica possa venir svolta in termini di nozioni meno oscure. Se, come è stato fatto, si interpreta questa necessità come una forma di necessità *logica*, il significato di 'necessario' in tal senso è del tutto trasparente; in verità la teoria logica fornisce un'analisi sistematica e generalmente accettata di tale necessità. Quindi, il punto di vista che gli universali nomologici siano logicamente necessari, benché debba affrontare gravi difficoltà, come vedremo tra breve, ha per lo meno il merito della chiarezza. Invece, quelli che sostengono che la necessità degli universali di legge è *sui generis*, e in fondo non ulteriormente analizzabile, postulano una proprietà la cui natura è essenzialmente oscura. Questa oscurità non viene rischiarata ma semplicemente riceve un nome da denominazioni del tipo di 'necessità fisica' o 'necessità reale'. Inoltre poiché generalmente si suppone che questo presunto tipo speciale di necessità sia riconoscibile solo da qualche "apprendimento intuitivo", l'attribuire questa necessità (sia per le asserzioni sia per le relazioni tra eventi) è soggetto a tutte le indeterminanze dei giudizi intuitivi. Senza

⁴ Questo condizionale congiuntivo non va inteso come se dicesse che se una qualsiasi vite fosse *identica* a una delle viti dell'automobile di Tizio sarebbe arrugginita. Quest'ultimo condizionale congiuntivo è chiaramente vero se davvero tutte le viti dell'automobile di Tizio sono arrugginite. Il condizionale congiuntivo del testo va invece inteso nel senso di affermare che per ogni oggetto x — sia o non sia identico ad una vite che si trovi ora nell'automobile di Tizio — se x fosse una vite di quella automobile sarebbe arrugginita.

dubbio la necessità che caratterizza palesemente gli universali di legge può essere davvero unica e non analizzabile, ma per le ragioni notate è consigliabile accettare questa conclusione solo come l'ultima a cui ricorrere.

Si è spesso avanzato il punto di vista secondo cui gli universali di legge in generale e le leggi causali in particolare enuncerebbero una necessità logica. Quelli tuttavia che adottano questa posizione, di solito non pretendono che in ogni caso venga effettivamente stabilita la necessità logica degli universali nomologici. Essi sostengono solo che gli autentici universali nomologici sono logicamente necessari e che "per principio" si potrebbero dimostrare tali anche se per la maggior parte manca una dimostrazione della necessità. Per esempio, nel discutere la natura della causalità uno scrittore contemporaneo sostiene che "la causa implica logicamente l'effetto in modo tale che in via di principio sarebbe possibile, con sufficiente acume, vedere quale genere di effetto debba seguire esaminando la sola causa, senza aver appreso dalle esperienze precedenti quali siano stati gli effetti di cause simili".⁵ In alcuni casi questa posizione è basata su una percezione, che si pretende diretta, della necessità logica di almeno un certo numero di universali nomologici, e sull'ipotesi che anche tutti gli altri debbano conseguentemente condividere questa caratteristica; in altri casi, questa posizione viene presa perché si ritiene che da essa dipenda la validità dell'induzione scientifica;⁶ e almeno uno tra coloro che propongono questo punto di vista ha ammesso francamente che gli argomenti principali a suo favore sono le obiezioni a tutti gli altri punti di vista.⁷

Le difficoltà di questa posizione sono tuttavia enormi. In primo luogo, nessuna delle asserzioni generalmente denominate leggi nelle varie scienze positive è di fatto logicamente necessaria, potendosi dimostrare che la sua negazione formale non è auto-contraddittoria. Di conseguenza coloro che propongono il punto di vista che stiamo esaminando devono o rifiutare tutte queste asserzioni come non costituenti casi di "autentiche" leggi (sostenendo così che non è stata ancora scoperta neppure una legge in nessuna scienza sperimentale) oppure rifiutare le prove secondo cui queste asserzioni non sono logicamente necessarie (e in tal modo sfidare la validità delle tecniche già stabilite per la prova logica). Nessuno dei corni del dilemma è invitante. In secondo luogo, se le leggi di natura sono logicamente necessarie, le

⁵ A. C. EWING, *Mechanical and Teleological Causation*, "Aristotelian Society", Suppl. vol. 14 (1935), p. 66. Cfr. anche G. F. STOUT: "Se avessimo una conoscenza sufficientemente vasta ed esatta di quanto realmente accade, potremmo vedere come e perché l'effetto segue dalla causa con necessità logica", "Aristotelian Society", Suppl. vol. 14 (1935), p. 46.

⁶ A. C. EWING, *Mechanical and Teleological Causation*, "Aristotelian Society", Suppl. vol. 14 (1935), p. 77.

⁷ C. D. BROAD, "Aristotelian Society", Suppl. vol. 14 (1935), p. 94.

scienze positive sono impegnate in uno sforzo incongruo quando vanno in cerca di prove sperimentali ed osservative per una legge ipotizzata. Il procedimento appropriato per stabilire la necessità logica di una data asserzione è quello di costruirne una prova dimostrativa al modo della matematica e non della sperimentazione. Oggi nessuno sa se la congettura di Goldbach (che ogni numero pari è la somma di due numeri primi) sia logicamente necessaria; ma anche nessuno, che comprenda il problema, tenterà di stabilire la necessità logica della supposizione eseguendo degli esperimenti fisici. È tuttavia impensabile il suggerire che quando è dubbia la verità di una legge fisica proposta, per esempio sulla luce, il fisico debba procedere come fa il matematico. Infine, anche se non si sa se le asserzioni, che si credono leggi di natura, siano logicamente necessarie, esse adempiono con successo i compiti che si son loro assegnati nelle scienze. È perciò gratuito sostenere che, se non fossero logicamente necessarie, queste asserzioni non potrebbero adempiere i compiti che manifestamente svolgono. L'asserzione nota come legge di Archimede, per esempio, ci permette di spiegare e predire un'ampia classe di fenomeni, anche se vi sono ragioni eccellenti per credere che la legge non sia logicamente necessaria; ma la supposizione che la legge debba veramente esser necessaria non segue dal fatto che essa viene usata con successo per spiegare e predire; e quindi postula una caratteristica che non gioca una parte identificabile nell'uso che effettivamente vien fatto della legge.

Non è tuttavia difficile comprendere perché qualche volta le leggi di natura appaiono come logicamente necessarie. Infatti una data frase può venir associata a significati del tutto differenti, così che, mentre in un contesto viene usata per esprimere una verità logicamente contingente, in un altro contesto la stessa frase può enunciare qualcosa che è logicamente necessario. Per esempio, un tempo il rame veniva identificato in base a proprietà che non includevano quelle elettriche. Dopo la scoperta dell'elettricità, la frase 'il rame è un buon conduttore elettrico' fu enunciata come legge di natura su basi sperimentali. Ma accadde anche che l'alta conduttività venisse introdotta tra le proprietà che definiscono il rame, così che la frase 'il rame è un buon conduttore elettrico' acquistò un nuovo uso e significato. Nel suo nuovo uso, la frase non esprimeva più soltanto una verità logicamente contingente, come prima, ma serviva anche per esprimere una verità logicamente necessaria. Senza dubbio non esiste una netta linea di demarcazione tra quei contesti in cui il rame viene identificato senza riferimento alle proprietà della conduttività e quelli in cui si considera che l'alta conduttività appartenga alla "natura" del rame. Di conseguenza, non sempre è chiaro lo *status* di ciò che si asserisce con la frase 'il rame è un buon conduttore elettrico', in modo che il carattere logico dell'asserzione che ne risulta in un contesto può facilmente venir confuso con il carattere

dell'asserzione che ne risulta in un altro contesto.⁸ Questo uso variabile della stessa frase aiuta a spiegare perché il punto di vista secondo cui le leggi di natura sono logicamente necessarie sembri così plausibile a molti pensatori. Da tale uso variabile scaturisce la convinzione, manifesta in dichiarazioni come quella che segue, che ogni altro punto di vista sia assurdo: "non posso attribuire nessun significato a una causalazione, in cui l'effetto non sia necessariamente determinato, e non posso attribuire nessun significato a una determinazione necessaria, che lasci perfettamente possibile che l'evento necessariamente determinato risulti diverso, senza contraddire o la propria natura o quella di ciò che lo determina".⁹ In ogni caso, le variazioni di significato a cui vanno soggetti i giudizi come conseguenza del progresso della conoscenza sono una caratteristica importante nello sviluppo di estesi sistemi di spiegazione. Questo punto verrà ulteriormente considerato nei prossimi capitoli.

La questione sulla natura della necessità dimostrabile degli universali nomologici ha occupato molti pensatori da quando Hume propose un'analisi delle asserzioni causali in termini di congiunzioni costanti e di uniformità *de facto*. Ignorando pur importanti dettagli nella tesi di Hume sulle relazioni spazio-temporali di eventi che vengono considerati in relazione causale, la sostanza della posizione di Hume può esser riassunta come segue. Il contenuto obiettivo dell'asserzione che un dato evento *c* è la causa di un altro evento *e*, è semplicemente che *c* costituisce un esempio di una proprietà *C*, e un esempio di una proprietà *E* (proprietà che possono essere molto complesse), ed ogni *C*

⁸ Un altro esempio può contribuire a render più chiaro questo punto. Si consideri la legge della leva nella seguente forma: se pesi uguali vengono posti alle estremità di una sbarra rigida omogenea sospesa per il suo punto di mezzo, la leva è in equilibrio; e si supponga che nessuna delle espressioni usate nella formulazione della legge sia definita in un modo che implichi ipotesi sul comportamento della leva. In questo caso, l'asserzione è chiaramente una legge empirica e non un'asserzione logicamente necessaria. Si supponga, invece, che due corpi siano definiti come uguali di peso se una leva è in equilibrio quando essi sono posti alle estremità dei suoi bracci uguali. Nei contesti in cui si impieghi tale definizione di "uguaglianza di peso", l'anzidetta frase concernente la leva non può venir negata senza autocontraddizione, in modo che essa non esprime una legge empirica per cui è decisiva una prova sperimentale, bensì stabilisce una verità logicamente necessaria. Frasi che appaiono come formulazioni di leggi ma che vengono di fatto adoperate come definizioni sono comunemente chiamate "convenzioni"; discuteremo in seguito più a lungo l'ufficio di tali convenzioni e la loro articolazione rispetto alle leggi.

⁹ A. C. EWING, opera citata nella nota 5. È solo una omissione a permetterci di dire che gli effetti possono venir desunti dalle cause, dato che dall'asserzione che si è verificata una data causa non segue di fatto logicamente l'asserzione circa il verificarsi dell'effetto corrispondente. Per desumere quest'ultima, bisogna completare l'asserzione sulla causa con una legge generale. Così, l'asserzione che una data palla da biliardo collide con un'altra non comporta logicamente nessuna asserzione sul susseguente comportamento della seconda; si può derivare tale ulteriore asserzione solo se si aggiunge all'asserzione iniziale qualche legge (per esempio riguardante la conservazione del momento). La tesi secondo cui le asserzioni sulle cause implicano logicamente quelle sugli effetti confonde quindi la relazione di necessità logica, che sussiste tra una serie di premesse esplicative e l'explanandum, con la relazione contingente affermata dalle leggi contenute nelle premesse stesse.

è, come dato di fatto, anche *E*. In questa analisi la "necessità" che dovrebbe caratterizzare la relazione tra *c* ed *e* non sta nelle relazioni obiettive degli eventi di per se stessi. La necessità risiede altrove — secondo Hume nelle abitudini di aspettativa che si sono sviluppate come conseguenza della congiunzione uniforme ma *de facto* di *C* con *E*.

La spiegazione data da Hume sulla necessità casuale è stata ripetutamente oggetto di critica, in parte per il fatto che essa poggia su una psicologia dubbia; oggi sono generalmente riconosciuti i meriti di tale critica. Tuttavia le concezioni psicologiche premesse da Hume non sono essenziali alla sua tesi centrale — quella cioè che gli universali di legge possano spiegarsi senza impiegare nozioni modali irriducibili come quelle di "necessità fisica" o "possibilità fisica". Di conseguenza la maggior parte delle critiche correnti all'analisi di Hume si appuntano sul fatto che l'uso di tali categorie modali è inevitabile in ogni analisi adeguata dell'universalità nomica. La questione resta aperta e si seguita a discuterla; alcuni dei problemi ad essa collegati sono stati dibattuti ad un livello tecnico molto elevato. Non è il caso di esaminare tutti questi dettagli tecnici;¹⁰ svilupperemo solo per sommi capi un'interpretazione dell'universalità nomica essenzialmente consona a Hume.

III. La natura della universalità nomica

Con tal fine in vista, consideriamo se, imponendo un certo numero di condizioni logiche ed epistemologiche ai condizionali universali (intesi, come spiegato sopra, alla maniera della logica formale moderna), i condizionali che soddisfino ad esse possano venir plausibilmente intesi quali asserzioni considerabili come leggi. Sarà di aiuto cominciare dal confronto tra un universale palesemente accidentale ('tutte le viti dell'automobile di Tizio sono arrugginite' o, in una forma più estesa: 'per ogni *x*, se *x* è una vite dell'automobile di Tizio durante l'intervallo di tempo *a*, allora *x* è arrugginito durante *a*', dove *a* designa un intervallo di tempo definito) e un esempio riconosciuto comunemente quale universale di legge ('il rame si dilata se scaldato', o, più esplicitamente per ogni *x* e per ogni *t*, se *x* è scaldato al tempo *t*, allora *x* si dilata al tempo *t*').

¹⁰ Alcuni di questi dettagli tecnici sono importanti solo in seguito ad una ipotesi che non appare ragionevole, e cioè che, a meno di adottare come ultime alcune nozioni modali, se si vuole ottenere una spiegazione adeguata dell'universalità nomica, si deve trattare ciascuna legge universale come un'unità e dimostrare che essa può venir tradotta in un universale *de facto* costruito appropriatamente e trattato esso pure come un'unità completa. Ma c'è sicuramente un'alternativa a questa ipotesi, e cioè quella di spiegare gli universali nomologici indicando alcune delle condizioni logiche ed epistemologiche in cui gli universali *de facto* vengono accettati come universali di legge. Inoltre, alcuni dettagli tecnici nascono dal proposito di escludere qualsiasi possibile caso "strano" che potesse sorgere teoricamente, anche se essi sorgono raramente e forse mai nella pratica scientifica.

1. Forse la prima cosa che ci colpisce è che l'universale accidentale contiene designazioni per un particolare oggetto singolo e per una data o un periodo di tempo definiti, a differenza dell'universale nomologico. È questa la differenza decisiva? No, se vogliamo annoverare tra le leggi di natura un certo numero di asserzioni che vengono frequentemente classificate in tal modo: per esempio, le leggi di Keplero sul moto dei pianeti, o anche l'asserzione che la velocità della luce nel vuoto è di 300.000 chilometri al secondo. Infatti le leggi di Keplero menzionano il Sole (la prima delle tre, per esempio, afferma che i pianeti si muovono su orbite ellittiche con il Sole nel fuoco di ciascuna ellisse); e la legge sulla velocità della luce fa tacita menzione della Terra, in quanto le unità di lunghezza e di tempo usate sono definite riferendosi alle dimensioni della Terra e al periodo della sua rotazione. Possiamo sì escludere queste asserzioni dalla classe delle leggi, ma sarebbe molto arbitrario il farlo. Inoltre, se ci si rifiuta di annoverare tra le leggi queste asserzioni, si è portati alla conclusione che esistono pochissime — forse nessuna — leggi, se si deve dar credito all'idea (discussa nel c. XI in modo più completo) che le relazioni di dipendenza codificate come leggi sono sottoposte a cambiamenti evolutivi. Secondo tale idea, diverse epoche cosmiche sono caratterizzate da regolarità diverse in natura, in modo che ogni asserzione che formuli appropriatamente una regolarità deve contenere una indicazione di un determinato periodo di tempo. Tuttavia nessuna asserzione che contenga una indicazione simile potrebbe venir considerata come legge da coloro che trovano incompatibile la presenza di un nome proprio in un'asserzione con il fatto che tale asserzione sia un universale nomologico.

In varie discussioni recenti sulle asserzioni considerabili come leggi si è proposto un modo per aggirare tale difficoltà. In primo luogo, si distingue tra predicati che sono "puramente qualitativi" e predicati che non lo sono, dove un predicato è detto puramente qualitativo se "per stabilire il suo significato non occorre riferirsi a nessun oggetto particolare o collocamento spazio-temporale".¹¹ Così, 'rame' e 'maggiore intensità di corrente' sono esempi di predicati puramente qualitativi, mentre non lo sono 'lunare' e 'più grande del Sole'. In secondo luogo, si distingue tra asserzioni considerabili come leggi "fondamentali" e "derivate". A parte casi più sottili, si dice che un condizionale universale è fondamentale se non contiene nomi individuali (o "costanti individuali") e se tutti i suoi predicati sono puramente qualitativi; e si dice che è derivato se è una conseguenza logica di qualche serie di asserzioni fondamentali considerabili come leggi; e, finalmente, un condizionale universale si dice "considerabile come legge" se è o fondamentale o derivato. Quindi, gli enunciati di Keplero possono venir

¹¹ CARL G. HEMPEL e PAUL OPPENHEIM, *Studies in the Logic of Explanation*, "Philosophy of Science", vol. 15 (1948), p. 156.

annoverati tra le leggi di natura se sono le conseguenze logiche di leggi fondamentali presumibilmente vere, come la teoria newtoniana.

Su questa base, la spiegazione proposta è più attraente, e riflette una tendenza indubitabile della fisica teorica corrente verso la formulazione delle sue ipotesi di base esclusivamente in termini di predicati qualitativi. La proposta incorre però in due difficoltà irrisolte. Prima di tutto, accade che condizionali universali contenenti predicati che non sono puramente qualitativi siano talvolta chiamati leggi, anche se non risulti che seguano logicamente da qualche insieme di leggi fondamentali. Era il caso, per esempio, delle leggi di Keplero prima dell'epoca di Newton; e se chiamiamo "legge" (come fanno alcuni) l'asserzione che i pianeti girano intorno al Sole tutti nella stessa direzione, è anche il caso di questa legge. Ma in secondo luogo è tutt'altro che certo che asserzioni come quelle di Keplero siano di fatto derivabili logicamente anche oggi da sole leggi fondamentali (come è richiesto dalla proposta in discussione perché tali asserzioni possano venir classificate come leggi). Sembra non vi sia modo di dedurre le leggi di Keplero dalla meccanica newtoniana e dalla teoria gravitazionale, con la semplice sostituzione di termini costanti alle variabili che si presentano in questa ultima e senza usare premesse addizionali i cui predicati non siano puramente qualitativi. E se è così, la spiegazione proposta annullerebbe dalla classe delle asserzioni considerabili come leggi un numero indefinito di asserzioni che comunemente vengono chiamate leggi.¹² In effetti quindi la spiegazione proposta è troppo restrittiva e non riesce a render giustizia a talune delle importanti ragioni che ci inducono a caratterizzare un'asserzione come legge di natura.

Confrontiamo perciò questo paradigma di universalità accidentale: 'per ogni x , se x è una vite dell'automobile di Tizio durante l'intervallo di tempo a , allora x è arrugginito durante a ', con la prima legge di Keplero: 'tutti i pianeti si muovono su orbite ellittiche con il Sole in un fuoco di ciascuna ellisse' (o, in forma logica simile, 'per ogni x e per ogni intervallo di tempo t , se x è un pianeta, allora x si muove su una orbita ellittica durante t e il Sole è in un fuoco di questa ellisse'). Entrambi gli enunciati contengono nomi di individui e predicati che

¹² Se invece si lascia cadere la condizione che tutte le premesse da cui deve venir dedotta una legge derivata siano fondamentali, bisognerebbe considerare come leggi degli enunciati che palesemente non ne hanno il tipo, come quello sulle viti dell'automobile di Tizio. Infatti questo enunciato segue dalla legge, presumibilmente fondamentale, che tutte le viti di ferro esposte all'ossigeno arrugginiscono, combinata con le premesse addizionali che tutte le viti dell'automobile di Tizio siano di ferro e siano state esposte all'ossigeno.

È invero possibile dedurre dalla teoria di Newton che un corpo che è sotto l'azione della legge dell'inverso del quadrato si muoverà su un'orbita che è una sezione conica con un fuoco nell'origine della forza centrale. Ma per ottenere l'ulteriore conclusione che tale conica è un'ellisse, appaiono inevitabili delle premesse addizionali — premesse che stabiliscono le masse relative e le velocità relative dei pianeti e del Sole. Questa circostanza è una ragione per dubitare del fatto che le leggi di Keplero siano deducibili da premesse che contengano soltanto leggi fondamentali.

non sono puramente qualitativi; vi è tuttavia differenza tra loro. Nell'universale accidentale, gli oggetti dei quali è affermato il predicato 'arrugginito durante l'intervallo di tempo a ' (chiamiamo la classe di tali oggetti il "campo predicativo" dell'universale) sono severamente ristretti a cose che cadono entro una specifica regione spazio-temporale. Invece nell'enunciato considerabile come legge, il campo predicativo piuttosto complesso 'che si muove su un'orbita ellittica durante l'intervallo di tempo t e il Sole in un fuoco di questa ellisse' non è altrettanto ristretto: non si richiede che i pianeti e le loro orbite siano situati in un volume fisso di spazio o in un dato intervallo di tempo. Per convenienza, chiamiamo "universale non ristretto" un universale il cui campo predicativo non sia ristretto a oggetti che cadono entro una data regione dello spazio o in un particolare periodo di tempo. È plausibile pretendere che gli enunciati considerabili come leggi siano universali non ristretti.

Si deve tuttavia notare che la decisione se un condizionale universale sia o no ristretto non può sempre essere raggiunta sulla base della struttura puramente grammaticale (o sintattica) della frase usata per stabilire il condizionale stesso, anche se la struttura grammaticale può esser spesso una guida abbastanza sicura. Per esempio, si potrebbe coniare la parola "auto-vite" per sostituire l'espressione 'vite nell'automobile di Tizio durante l'intervallo a ' e quindi rendere l'universale accidentale con l'espressione 'tutte le autoviti sono arrugginite'; ma la struttura sintattica di questa nuova frase non rivela che il suo campo predicativo sia ristretto a oggetti che soddisfano una data condizione solo durante un intervallo di tempo limitato. Si deve quindi diventar familiari con l'uso o il significato delle espressioni che si presentano nella frase, per decidere se l'asserzione contenuta in essa sia un universale non ristretto. Si deve pure notare che, anche se un condizionale universale non è ristretto, può effettivamente avere un campo predicativo finito. D'altra parte, anche se il campo è finito, la sua finitezza non deve essere inferibile dal termine del condizionale universale e che formula il campo predicativo, e deve quindi venir stabilita in base a prove empiriche indipendenti. Per esempio, anche se il numero dei pianeti noti è finito, ed anche se abbiamo qualche prova per credere che sia finito il numero di giri dei pianeti intorno al Sole (tanto nel passato che nel lontano futuro), questi sono fatti che non possono venire dedotti dalla prima legge di Keplero.

2. Benché l'universalità non ristretta sia spesso presa come condizione necessaria perché un'asserzione sia una legge, essa non è però sufficiente. Un condizionale universale non ristretto può essere vero, semplicemente perché è vero a-vuoto (cioè non vi è nulla che soddisfi la clausola del suo antecedente). Ma se un condizionale viene accettato solo per questa ragione, è improbabile che qualcuno lo annoveri tra le

leggi di natura. Per esempio se supponiamo (cosa per cui abbiamo buone ragioni) che non vi siano affatto degli unicorni, le regole della logica esigono che accettiamo anche come vero che tutti gli unicorni sono lesti di piede. Nonostante ciò, tuttavia, anche coloro che sono familiari con la logica esiteranno a classificare quest'ultima asserzione come legge di natura — specialmente in quanto la logica ci richiede anche di accettare come vero, in base alla stessa supposizione iniziale, che tutti gli unicorni corrono molto lentamente. La maggior parte della gente infatti considererebbe nella migliore delle ipotesi uno scherzo il considerare un condizionale universale come una legge perché è vero-a-vuoto. La ragione di ciò sta in buona parte nell'uso che normalmente si fa delle leggi, che consiste nello spiegare fenomeni e altre leggi, nel predire eventi e in generale nel servire come strumenti per trarre inferenze in una ricerca. Ma se si accetta un condizionale universale in base al fatto che esso è vero-a-vuoto, non lo si può applicare a niente, e perciò non può compiere le funzioni inferenziali che ci si aspetta da una legge.

Talvolta può sembrare plausibile che un condizionale universale non si chiami legge se non si sa che esiste almeno un oggetto che soddisfi il suo antecedente. Ma questa condizione appare troppo restrittiva, perché non sempre si è in grado di saperlo, anche se si è preparati a chiamare legge una data asserzione. Per esempio, possiamo non sapere se di fatto esista del filo di rame a -270°C , ed ugualmente voler classificare come legge l'asserzione che tutti i fili di rame a -270°C sono buoni conduttori di elettricità. Ma se accettiamo questa asserzione come legge, in base a quale prova lo facciamo? Per ipotesi non ne abbiamo prove dirette, in quanto abbiamo supposto di non sapere se esista del filo di rame a temperature vicino allo zero assoluto, e quindi non abbiamo eseguito nessun esperimento su quel filo di rame. La prova deve perciò essere indiretta: l'asserzione viene accettata come legge, presumibilmente perché è la conseguenza di qualche *altra* legge ipotizzata e per la quale esiste una prova di qualche genere. Per esempio, l'asserzione è una conseguenza della legge ben chiara che tutto il rame è un buon conduttore elettrico, legge per cui vi sono prove considerevoli. Possiamo quindi formulare nel modo seguente una condizione addizionale come requisito implicito per classificare come legge di natura un universale non ristretto; la verità-a-vuoto di un universale non ristretto non è sufficiente perché lo si consideri una legge: esso vale come legge solo se esiste una serie di altre leggi ipotizzate da cui l'universale sia logicamente derivabile.

Gli universali non ristretti delle cui clausole antecedenti si sa che non sono soddisfatte da nulla nell'universo acquistano in tal modo il loro *status* di leggi, perché fanno parte di un sistema di leggi in relazione deduttiva e sono sostenuti dalla prova empirica — spesso assai vasta e varia — che sostiene il sistema stesso. È tuttavia pertinente il

chiedere perché un'asserzione universale, anche se sostenuta in tal modo, debba venir classificata come legge se è anche risaputo che è vera-a-vuoto. Vi sono due ragioni possibili per ritenere che un'asserzione è vera-a-vuoto. Una è che non si siano trovati esempi che soddisfino la clausola dell'antecedente della legge, nonostante le ricerche più accurate. Malgrado che questa prova negativa possa talvolta esser rilevante, frequentemente non risulta conclusiva, potendosi sempre dare che gli esempi si presentino in zone ove si è trascurata la ricerca o in circostanze speciali. In tal caso si può adoperare la legge per calcolare le conseguenze logiche della supposizione che esistano di fatto degli esempi positivi in qualche regione inesplorata o in condizioni immaginate; questo calcolo può suggerire come si possa restringere la zona dell'ulteriore ricerca di esempi positivi, o quali manipolazioni sperimentali si possano intraprendere per generare tali esempi. La seconda ragione, generalmente più decisiva, per credere che una legge sia vera-a-vuoto è una prova che l'accettazione dell'esistenza di un esempio positivo per la legge sia logicamente incompatibile con altre leggi che appartengono al sistema. La legge vera-a-vuoto può quindi essere davvero oziosa, e costituire un peso morto perché non ha funzione inferenziale. D'altra parte, se le leggi usate per stabilire tale verità-a-vuoto sono esse stesse sospette, la legge già nota come vera-a-vuoto può venir usata come base per ottenere ulteriori prove critiche riguardo tali leggi. Ci sono senza dubbio altri possibili usi delle leggi vere-a-vuoto; l'importante è che esse non vengano incluse in corpi codificati di conoscenza, a meno che abbiano qualche uso.

Occorre a questo punto dedicare attenzione, sia pur brevemente, ad un'altra questione. Spesso viene sostenuto che alcune leggi della fisica (e di altre discipline, per esempio dell'economia), accettate come almeno temporaneamente originarie, sono notoriamente vere-a-vuoto. Di conseguenza i ragionamenti or ora fatti non appaiono adeguati, in quanto vengono chiamati "leggi" certi universali non ristretti, nonostante che non siano derivati da altre leggi. Un esempio familiare di una simile legge originaria e vera-a-vuoto è la prima legge del moto, di Newton, secondo la quale un corpo che non sia sotto l'azione di forze esterne mantiene una velocità costante; e l'obiezione familiare è che di fatto non esistono corpi simili, dato che la supposizione che esistano è incompatibile con la teoria newtoniana della gravitazione. Per il momento parleremo assai in breve su questo esempio, poiché gli dedicheremo una considerevole attenzione in seguito; ma due punti possono venir esaminati speditamente. Anche se è fondata l'obiezione che la legge di Newton sia vera-a-vuoto, non è questa la ragione per cui essa viene accettata come legge. Perché allora viene accettata? Tralasciando la questione sull'interpretazione da darsi all'asserzione di Newton (per esempio se essa sia o no un'asserzione definitoria di cosa debba intendersi per corpo non sottoposto all'azione di forze esterne) e tralasciando

anche la questione se essa sia o non sia deducibile da qualche altra legge accettata (per esempio la seconda legge del moto di Newton), un esame del suo uso mostra che quando si analizzano i moti dei corpi in termini delle componenti vettoriali dei moti, le loro velocità sono costanti nelle direzioni lungo le quali non vi sono forze effettive che agiscono sui corpi stessi. In breve, è una semplificazione eccessiva e grossolana il sostenere che la legge è vera-a-vuoto, perché essa è un elemento in un sistema di leggi per le quali esistono con certezza esempi confermant. Più in generale, se una legge "originaria" fosse soddisfatta a-vuoto, sarebbe ben difficile comprendere la sua utilità entro il sistema di cui facesse parte.

3. È plausibile il supporre che le asserzioni candidate al titolo di "leggi di natura" debbano soddisfare un'altra condizione, suggerita dalle considerazioni a cui si è accennato. A parte il fatto che l'universale accidentale usato come paradigma, sulle viti arrugginite dell'automobile di Tizio, non è un universale non ristretto, esso mostra un'ulteriore caratteristica. Questo condizionale universale (chiamiamolo S) può essere inteso come una maniera riassuntiva di asserire una congiunzione finita di asserzioni, ciascun elemento della congiunzione essendo un'asserzione relativa a una vite particolare in una classe finita di viti. Così S è equivalente alla congiunzione: 'se s_1 è una vite dell'automobile di Tizio durante l'intervallo di tempo a , allora s_1 è arrugginito durante a , e se s_2 è una vite dell'automobile di Tizio durante l'intervallo a , allora s_2 è arrugginito, durante a , e..., e se s_n è una vite dell'automobile di Tizio durante l'intervallo a , allora s_n è arrugginito durante a ', essendo n un numero finito. S può quindi venir stabilito stabilendo la verità di un numero finito di asserzioni della forma: ' s_i è una vite dell'automobile di Tizio durante l'intervallo a e s_i è arrugginito durante tale intervallo'.

Di conseguenza se accettiamo S , lo facciamo perché abbiamo esaminato un certo numero fisso di viti che abbiamo ragione di credere esauriscano il campo predicativo di S . Se avessimo ragioni per sospettare che le viti esaminate non esauriscono il totale delle viti nell'automobile di Tizio, ma che anzi vi sia in tale automobile un numero indefinito di altre viti che non sono state esaminate, non saremmo in grado di asserire che S è vero. Infatti nell'asserire S noi asseriamo in effetti che ciascuna delle viti esaminate è arrugginita e che le viti esaminate sono tutte le viti esistenti nell'automobile di Tizio. È però importante comprendere con chiarezza quale sia il punto in questione. In primo luogo, S potrebbe essere accettato come vero, non già perché ogni vite dell'automobile di Tizio è risultata arrugginita, bensì per esser stato dedotto da qualche altra ipotesi. Per esempio, potremmo dedurre S dalle premesse che tutte le viti dell'automobile di Tizio sono di ferro, che esse sono state esposte all'ossigeno libero, e che il ferro in presenza di ossigeno arrugginisce sempre. Ma anche in questo caso l'accettazione di

S dipende dal fatto che abbiamo stabilito un numero fisso di asserzioni aventi la forma ' s_i è una vite di ferro dell'automobile di Tizio ed essa è stata esposta all'ossigeno', dove le viti esaminate esauriscono il campo di applicazione di S . In secondo luogo, S potrebbe venir accettato in base al fatto che abbiamo esaminato un campione presumibilmente esauriente di viti dell'automobile di Tizio, e abbiamo dedotto il carattere delle viti non esaminate dal carattere osservato nelle viti del campione. Ma anche qui la deduzione presuppone che le viti del campione provengano da una classe di viti completa e non suscettibile di aumento. Per esempio, presuppone che nessuno toglierà una vite dalla automobile sostituendola con un'altra, e che nessuno praticherà nell'automobile un nuovo foro in cui inserire una nuova vite. Se accettiamo S come vero in base a quanto abbiamo trovato nel campione, lo facciamo in parte supponendo che il campione sia stato ottenuto da una popolazione di viti che non cesserà né verrà alterata durante l'intervallo di tempo menzionato in S .

Viceversa, non risulta che si faccia una supposizione analoga riguardo alle prove in base alle quali vengono accettate le asserzioni chiamate leggi. Così, benché la legge che il ferro in presenza di ossigeno libero arrugginisce sia stata una volta basata esclusivamente sulla prova desunta dall'esame di un numero finito di oggetti di ferro che erano stati esposti all'ossigeno, non si assumeva tale prova come capace di esaurire il campo predicativo della legge. Inoltre, se ci fosse stata ragione di supporre che questo numero finito di oggetti esaurisse la classe di oggetti di ferro esposti all'ossigeno che siano mai esistiti e che mai esisteranno in futuro, è assai dubbio se si sarebbe chiamato legge il condizionale universale; al contrario, se si fosse creduto che i casi osservati esaurissero il campo di applicazione del condizionale, è probabile che l'asserzione sarebbe stata classificata semplicemente come una notizia storica. Quando chiamiamo legge un'asserzione, noi asseriamo, a quanto pare, almeno tacitamente, che per quel che sappiamo i casi esaminati non costituiscono tutta la classe degli esempi dell'asserzione. Quindi perché un universale non ristretto venga chiamato legge, è plausibile pretendere che non si sappia che le sue prove coincidano con il suo campo predicativo e inoltre che non si sappia che il suo campo sia chiuso rispetto ad un ulteriore ampliamento.

La giustificazione di questo requisito è da trovarsi anche qui negli usi inferenziali a cui normalmente vengono adibite le asserzioni chiamate leggi. La funzione primaria di tali asserzioni è di spiegare e di predire. Ma se un'asserzione non afferma in effetti di più di quanto viene affermato dalle sue prove, è leggermente assurdo da parte nostra adoperare l'asserzione stessa per spiegare o predire qualcosa contenuto in queste prove, ed è contraddittorio usarla per spiegare o predire qualcosa non contenuto in esse. Il chiamare legge un'asserzione è perciò dire qualcosa di più che dire che è un universale non ristretto presumibilmente

te vero. Chiamare legge un'asserzione è assegnarle una certa funzione, e in tal modo è dire in effetti che si suppone che la prova su cui essa è basata non costituisca il suo campo predicativo totale.

Questa condizione appare sufficiente per rifiutare il titolo di "legge" a una certa classe di asserzioni appositamente manipolate che normalmente non verrebbero classificate come tali, ma che evidentemente soddisfano la condizione discussa sopra. Consideriamo l'asserzione: 'tutti gli uomini che sono i primi a vedere una retina umana vivente contribuiscono a stabilire il principio della conservazione dell'energia'. Supponiamo che l'asserzione non sia vera a-vuoto e che sia un universale non ristretto, così che lo si possa trascrivere come segue: 'per ogni x ed ogni t , se x è un uomo che vede una retina umana vivente al tempo t e nessun uomo vede una retina umana vivente in qualsiasi tempo prima di t , allora x contribuisce a stabilire il principio di conservazione dell'energia'.¹³ Chi ha presente la storia della scienza riconoscerà il riferimento ad Helmholtz che fu tanto il primo a vedere una retina umana vivente quanto uno dei fondatori del principio di conservazione dell'energia. Quindi l'asserzione anzidetta è vera, e per ipotesi soddisfa la condizione dell'universalità non ristretta. È tuttavia plausibile supporre che la maggior parte delle persone sarebbero restie a chiamarla legge. La ragione di questa supposta riluttanza diventa chiara quando si esamini quale prova è necessaria per stabilire l'asserzione. Per stabilirne la verità è sufficiente mostrare che Helmholtz fu effettivamente il primo essere umano che vide una retina umana vivente, e che egli contribuì a stabilire il principio di conservazione. Ma, se Helmholtz fu tale, allora nel nostro caso, logicamente non vi può essere un altro essere umano che soddisfi le condizioni descritte nella clausola antecedente dell'asserzione di cui sopra; in breve, sappiamo in questo caso che la prova in base alla quale l'asserzione viene accettata coincide con il suo campo predicativo. L'asserzione non può servire per spiegare o predire nulla che non sia incluso nella prova stessa, e quindi non le si può attribuire lo status di legge di natura.

4. Occorre notare un ulteriore punto riguardante le asserzioni che comunemente vengono designate come leggi, anche se è difficile formulare a questo proposito qualcosa del tipo di un "requisito" che debba venir invariabilmente soddisfatto dalle asserzioni considerabili come leggi. Questo punto verte sulla posizione che hanno le leggi nel corpus della nostra conoscenza, e sull'atteggiamento conoscitivo che spesso manifestiamo nei loro riguardi.

La prova in forza della quale un'asserzione L viene chiamata una legge può venir distinta in "diretta" o "indiretta". a) Può essere una

¹³ HANS REICHENBACH, *Nomological Statements and Admissible Operations*, Amsterdam, 1954, p. 35.

prova diretta, nel senso familiare e cioè che consista di casi i quali cadono nel campo predicativo di L , dove tutti i casi esaminati siano in possesso della proprietà predicata da L . Per esempio, per la legge che il rame riscaldato si dilata, la prova diretta viene fornita dai chilometri di filo di rame che si dilatano per riscaldamento. b) La prova di L può essere "indiretta" in due sensi. Può accadere che L sia derivabile insieme ad altre leggi L_1, L_2 , ecc. da qualche legge più generale M (una o più), in modo che la prova diretta per queste altre leggi vale come prova (indiretta) per L . Per esempio, la legge che il periodo di un pendolo semplice è proporzionale alla radice quadrata della sua lunghezza, e la legge che la distanza percorsa da un corpo che cade liberamente è proporzionale al quadrato del tempo di caduta sono congiuntamente derivabili dalle ipotesi della meccanica newtoniana. È uso far valere la prova diretta che conferma la prima di queste leggi come prova che conferma, sia pure solo "indirettamente", la seconda. Tuttavia la prova di L può essere "indiretta" in un senso un po' diverso, e cioè che L possa esser composto da una varietà di ipotesi particolari che conducono ad altre leggi, ciascuna in possesso di un campo predicativo distinto, così che la prova diretta per tali leggi derivate valga come prova "indiretta" per L . Per esempio, congiungendo le leggi di Newton sul moto con varie ipotesi particolari, si possono dedurre le leggi di Keplero, la legge sul periodo del pendolo, la legge sulla libera caduta dei gravi e le leggi sulle forme delle masse rotanti. Quindi la prova diretta per queste leggi derivate serve da prova indiretta per le leggi di Newton.

Si supponga ora che vi sia per L , oltre a una certa prova diretta, anche una considerevole prova indiretta (in entrambi i sensi di "indiretta"). Ma si supponga pure che si incontrino alcune eccezioni apparenti ad L . Possiamo ugualmente esser molto riluttanti ad abbandonare L , nonostante l'esistenza di queste eccezioni, e ciò per almeno due ragioni. Prima di tutto, il peso della prova, diretta e indiretta, che conferma L può esser maggiore di quello della prova apparentemente negativa. In secondo luogo, in virtù delle sue relazioni con altre leggi e con la prova in loro favore, L non è sola, bensì la sua sorte influenza quella del sistema di leggi a cui appartiene. Quindi il respingere L richiederebbe una seria riorganizzazione di certe parti delle nostre conoscenze. Ma può darsi che non si possa effettuare tale riorganizzazione perché al momento non vi sia modo di sostituire opportunamente il sistema fino ad oggi adeguato; e può darsi pure che si possa evitare la riorganizzazione dando una nuova interpretazione alle apparenti eccezioni ad L , in modo che esse risultino come eccezioni in definitiva non "genuine". In questo modo si potranno salvare sia L sia il sistema a cui esso appartiene, nonostante le prove palesemente negative per la legge. Si ha un esempio di questo caso quando si interpreta un'apparente venir meno di una legge come il risultato di osservazioni imprecise o di inesperienza nell'esecuzione di un esperimento. Ma può anche essere illustrata da esempi più imponenti.

Così, la legge (o principio) della conservazione dell'energia venne messa in serio pericolo dagli esperimenti sul decadimento dei raggi beta i cui risultati non potevano venir negati. Tuttavia la legge non fu abbandonata, e venne supposta l'esistenza di un nuovo tipo di entità (chiamata "neutrino"), allo scopo di far concordare la legge con i dati sperimentali. La giustificazione di questa ipotesi è che rigettando la legge della conservazione si sarebbe privata una gran parte delle nostre conoscenze scientifiche della sua coerenza sistematica. Invece la legge (o principio) della conservazione della parità nella meccanica quantistica (che afferma che, per esempio, in certi tipi di interazioni i nuclei atomici orientati in una direzione e quelli orientati nella direzione opposta emettono particelle beta di uguale intensità) è stata recentemente respinta, anche se all'inizio erano relativamente pochi gli esperimenti che indicavano che la legge non era valida in generale. Questa netta differenza tra le sorti della legge dell'energia e di quella della parità indica la differenza tra le posizioni che queste ipotesi occupano a un dato tempo nel sistema delle conoscenze fisiche, e la superiorità del danno intellettuale che in quello stadio seguirebbe dall'abbandono della prima teoria rispetto all'abbandono della seconda.

Più in generale, siamo abitualmente ben preparati ad abbandonare una legge per cui la prova sia esclusivamente di tipo diretto, appena si scoprono eccezioni *prima facie* ad essa. Vi è infatti una forte inclinazione a negare la denominazione di "legge di natura" a un condizionale universale L , anche se soddisfi le varie condizioni già discusse, se l'unica prova disponibile per L è una prova diretta. È ancora più probabile che si rifiuti come "legge" un siffatto L , se, essendo L della forma 'tutti gli A sono B ', esiste una classe di oggetti C che non sono A , i quali però rassomigliano, sotto qualche aspetto considerato "importante", a oggetti che sono A , così che, mentre alcuni elementi di C hanno la proprietà B , tuttavia B non caratterizza invariabilmente gli elementi di C . Per esempio benché tutte le prove a disposizione confermino l'asserzione universale che tutti i corvi sono neri, non risulta esservi per essa una prova indiretta. Ma se l'asserzione viene accettata come una "legge", quelli che la accettano probabilmente non esiterebbero a rifiutarla come falsa e a ritirarle in tal modo la denominazione data, se fosse trovato un uccello che fosse evidentemente un corvo ma che avesse le piume bianche. Inoltre, è noto che il colore delle piume è una caratteristica variabile negli uccelli in generale; e di fatto si sono trovate specie di uccelli simili ai corvi per caratteristiche biologiche molto importanti, senza tuttavia che le loro piume fossero completamente nere; quindi, in assenza di leggi note in termini delle quali si possa spiegare il colore nero dei corvi, con la conseguente assenza di una estesa varietà di prova indiretta per l'asserzione che tutti i corvi sono neri, il nostro atteggiamento verso questa asserzione è stato stabilito in modo meno fermo che verso asserzioni chiamate leggi per le quali vi sia una prova indiretta.

Queste differenze nel nostro esser pronti ad abbandonare un condizionale universale di fronte a una prova che apparentemente lo contraddica, è talora riflesso nel modo in cui adoperiamo le leggi nell'inferenza scientifica. Finora abbiamo supposto che le leggi vengano usate come premesse *dalle quali* si derivino conseguenze in accordo con le regole della logica formale. Ma quando una legge è considerata come stabilita con sicurezza e tale da occupare una salda posizione entro il *corpus* delle nostre conoscenze, la legge stessa può venir usata come un principio empirico *in accordo con il quale* vengono ricavate deduzioni. Questa differenza tra premesse e regole di deduzione può venir illustrata con un ragionamento sillogistico elementare. La conclusione che un dato pezzo di filo a è un buon conduttore dell'elettricità può venir derivata dalle due premesse che a è rame e che il rame è sempre un buon conduttore dell'elettricità, in accordo con la regola di logica formale nota come *dictum de omni*. Ma la stessa conclusione può essere ottenuta anche dalla sola premessa che a è rame, se si accetta come un principio deduttivo la regola che un'asserzione della forma ' x è un buon conduttore dell'elettricità' è derivabile da un'asserzione della forma ' x è rame'.

Questa è una differenza solamente tecnica; da un punto di vista puramente formale è sempre possibile eliminare una premessa universale senza invalidare un argomento deduttivo, purché si adotti un'appropriata regola deduttiva per sostituire la premessa. Tuttavia in pratica si ricorre a questo artificio tecnico solo quando la premessa universale ha lo *status* di una legge che non siamo disposti ad abbandonare solo a causa di alcune apparenti eccezioni che occasionalmente siano emerse. E ciò perché quando si sostituisce questa premessa con una regola deduttiva, si è sulla strada di trasformare i significati di alcuni dei termini impiegati nella premessa, onde il suo contenuto empirico viene gradualmente assorbito dai significati di quei termini. Così, nell'esempio precedente, l'asserzione che il rame è un buon conduttore dell'elettricità viene supposta di tipo fattuale, nel senso che il possesso di un'alta conduttività non è uno dei tratti che servono a definire cosa debba essere il rame, in modo che per stabilire l'asserzione è necessaria una prova empirica. Invece, quando si sostituisce questa asserzione con una regola di inferenza, si tende a considerare la conduttività elettrica come un tratto più o meno "essenziale" del rame, in modo che alla fine non si potrà classificare come rame nessun oggetto che non sia un buon conduttore. Come abbiamo già notato, questa tendenza va a favore del punto di vista secondo cui le leggi genuine esprimono relazioni di necessità logica. Ma in ogni caso, quando questa tendenza sia completamente invalsa, la scoperta di una sostanza scarsamente conduttrice che sotto altri aspetti fosse simile al rame, richiederebbe una nuova classificazione delle sostanze con una revisione corrispondente dei significati associati con termini come quello di 'rame'. È questa la ragione per cui la trasformazione di una legge evidentemente empirica in una regola di inferenza si

effettua di solito solo quando si suppone che la legge sia stabilita tanto fermamente che per spodestarla occorrerebbe una prova schiacciante. Di conseguenza, anche se per chiamare legge un condizionale universale non è richiesto che si sia disposti a reinterpretare la prova apparentemente negativa pur di conservare l'asserzione come parte integrante della nostra conoscenza, molte asserzioni vengono classificate come leggi parzialmente perché abbiamo verso di loro un simile atteggiamento.

IV. *Universali controfattuali*

Esistono quattro tipi di considerazioni che appaiono di rilievo per classificare gli enunciati come leggi di natura: 1) considerazioni sintattiche che si riferiscono alla forma degli enunciati considerabili come leggi; 2) relazioni logiche tra gli enunciati dati ed altri enunciati entro un sistema di spiegazioni; 3) le funzioni assegnate nella ricerca scientifica agli enunciati considerabili come leggi; e 4) gli atteggiamenti conoscitivi manifestati verso un enunciato per la natura della prova disponibile. Queste considerazioni in parte si sovrappongono, in quanto, per esempio, la posizione logica di un enunciato in un sistema è in relazione tanto con il ruolo che esso può svolgere in una ricerca, quanto con il tipo di prova che ci si può procurare per esso. In più, non si può asserire che le condizioni menzionate in queste considerazioni siano sufficienti (né forse qualche volta neppure necessarie) per applicare ad un enunciato l'etichetta "legge di natura". Indubbiamente si possono costruire ad arte enunciati che soddisfino queste condizioni, ma che generalmente non verrebbero chiamati leggi, così come si possono trovare enunciati chiamati talvolta leggi, che non soddisfano una o più di queste condizioni. Per ragioni già esposte ciò è inevitabile, perché non è possibile una spiegazione precisa del significato di "legge di natura" che sia in accordo con tutti i modi in cui viene usata questa espressione vaga. Tuttavia risulta che gli enunciati che soddisfano queste condizioni sembrano sfuggire alle obiezioni sollevate dai critici dell'analisi humiana della universalità nomica; quest'ultima affermazione richiede di essere sostenuta da qualche argomentazione; come pure occorre dire qualcosa sul problema connesso dello *status* logico dei condizionali controfattuali.

1. Forse la critica corrente più forte all'analisi humiana dell'universalità nomica è costituita dall'argomento che gli universali *de facto* non possono reggere i condizionali congiuntivi. Supponiamo di sapere che non è mai esistito un corvo che non fosse nero, che non esiste al presente un corvo che non sia nero e che non esisterà mai un corvo che non sia nero. Siamo in tal caso autorizzati ad asserire come vero l'universale accidentale non ristretto S : 'tutti i corvi sono neri'. È stato obiettato, tuttavia, che S non esprime ciò che normalmente chiameremmo una

legge di natura.¹⁴ Si supponga invero che in via di fatto nessun corvo sia mai vissuto né vivrà nelle regioni polari. E supponiamo inoltre di non sapere se il dimorare nelle regioni polari abbia o no una influenza sul colore dei corvi, cosicché, per quel che ne sappiamo, può darsi che nella discendenza di corvi che emigrassero in quelle regioni si sviluppi un piumaggio bianco. Quindi, benché S sia vero, tale verità può essere soltanto una conseguenza dell'"accidente storico" che nessun corvo è mai vissuto nelle regioni polari. Di conseguenza l'universale accidentale S non regge il condizionale congiuntivo che corvi, che abitassero le regioni polari, sarebbero neri; e poiché una legge di natura deve, per ipotesi, reggere tali condizionali, S non può valere come legge. In breve, l'universalità non ristretta non mostra le caratteristiche di ciò che intendiamo con universalità nomica.

Ma, sebbene l'argomentazione sia in grado di stabilire quest'ultimo punto, non ne segue che S non è una legge di natura perché non riesce ad esprimere una necessità nomica irriducibile. Infatti si può negare ad S lo *status* di legge, nonostante la sua accettata verità, per almeno due ragioni, nessuna delle quali ha nulla a che fare con la questione di tale necessità. In primo luogo, può darsi che la prova di S coincida con il suo campo predicativo, cosicché S non può svolgere, per chi è familiare con quella prova, le funzioni che ci si aspetta dagli enunciati classificati come leggi. In secondo luogo la prova di S , sebbene per ipotesi sia logicamente sufficiente per stabilire che S è vero, può essere esclusivamente una prova diretta; allora si può rifiutare la denominazione di legge ad S , in base al fatto che possono avanzare pretese per tale denominazione solo gli enunciati per i quali è disponibile una prova indiretta (in modo che tali enunciati debbano occupare un certo posto logico entro il *corpus* della nostra conoscenza).

Ma a questo proposito un'altra considerazione è non meno pertinente. La succitata incapacità di S a sostenere il condizionale congiuntivo è una conseguenza del fatto che S è asserito come vero entro un contesto di assunzioni che esse stesse rendono dubbio il condizionale congiuntivo. Per esempio, S viene asserito sapendo che nessun corvo abita le regioni polari. Ma abbiamo già accennato al fatto che sappiamo abbastanza intorno agli uccelli per sapere che il colore delle loro penne non è invariante in ogni specie di uccelli. E sebbene non conosciamo al presente i precisi fattori da cui dipende il colore delle penne, abbiamo ragioni per credere che il colore dipenda almeno in parte dalla costituzione genetica

¹⁴ WILLIAM KNEALE, *Natural Laws and Contrary-to-Fact Conditionals*, "Analysis", vol. 10 (1950), p. 123. Cfr. anche WILLIAM KNEALE, *Probability and Induction*, Oxford, 1949, p. 75. L'impulso alla più recente discussione sugli universali nomologici e sui condizionali soggiuntivi e controfattuali è stato dato da RODERICK M. CHISHOLM, *The Contrary-to-Fact Conditional*, "Mind", vol. 55 (1946), pp. 289-307, e NELSON GOODMAN, *The Problem of Counterfactual Conditionals*, "Journal of Philosophy", vol. 44 (1947), pp. 113-28; quest'ultimo anche ristampato in NELSON GOODMAN, *Fact, Fiction, and Forecast*, Cambridge, Mass., 1955.

degli uccelli; e sappiamo pure che tale costituzione può venire influenzata dalla presenza di certi fattori (per esempio radiazioni ad alta energia), che possono essere presenti in particolari ambienti. Quindi S non regge il condizionale congiuntivo citato, non perché S non sia capace di reggere nessun condizionale di tal tipo, ma perché la totalità delle conoscenze a nostra disposizione (e non la sola prova per S stesso) non garantisce questo particolare condizionale. Potrebbe esser plausibile il supporre che S convalidi il condizionale congiuntivo che, se ci fosse un corvo abitante nelle regioni polari non esposto ai raggi X , quel corvo sarebbe nero.

Il punto da notarsi, quindi, è che il fatto che S regga o non regga un dato condizionale congiuntivo dipende non soltanto dalla verità di S ma anche dalle altre cognizioni di cui possiamo essere in possesso — in effetti dallo stato dell'indagine scientifica. Per vedere questo punto più chiaramente, applichiamo la critica in questione a un enunciato generalmente considerato come legge di natura. Supponiamo che non esistano (onnitemporalmente) oggetti fisici che non si attraggano reciprocamente in ragione inversa del quadrato della loro distanza. Siamo allora autorizzati a asserire come vero l'universale non ristretto S' : 'tutti i corpi fisici si attraggono reciprocamente in ragione inversa del quadrato delle loro distanze'. Ma supponiamo anche che le dimensioni dell'universo siano finite, e che non esistano corpi fisici separati da una distanza maggiore, per esempio, di cinquanta trilioni di anni luce. È S' in grado di reggere il condizionale congiuntivo secondo cui, se esistessero corpi fisici che distassero tra loro più di 50 trilioni di anni luce, essi si attrarrebbero reciprocamente in ragione inversa del quadrato della loro distanza? Secondo l'argomentazione di cui ci stiamo occupando, è presumibile che la risposta sarebbe negativa. Ma è veramente plausibile tale risposta? Non è più giustificato il dire che nessuna risposta è possibile — nè affermativa nè negativa — a meno che si formuli di fatto qualche ulteriore assunzione? Infatti, senza tale ulteriore assunzione, come si può esprimere un giudizio su una qualsiasi eventuale risposta? Viceversa, se fossero formulate tali ulteriori assunzioni — per esempio, se si supponesse che la forza di gravità è indipendente dalla massa totale dell'universo — non è da escludersi che la risposta corretta potrebbe essere in senso affermativo.

In breve, la critica di cui ci stiamo occupando non indebolisce l'analisi humana dell'universalità nomica, ma mette in maggior luce il punto importante che un enunciato generalmente viene classificato come legge di natura perché occupa una posizione caratteristica nel sistema di spiegazioni in qualche regione della conoscenza e perché è sostenuto da prove che soddisfano determinati requisiti.

2. Quando facciamo progetti per il futuro o consideriamo il passato, spesso conduciamo avanti le nostre deliberazioni facendo ipotesi che

sono contrarie ai fatti noti. I risultati di tali riflessioni sono quindi spesso formulati come condizionali controfattuali aventi la forma: 'se a fosse P , allora b sarebbe Q ', oppure 'se a fosse stato P , allora b sarebbe stato (o sarebbe) Q '. Per esempio, un fisico che stia progettando un esperimento può a un certo punto dei suoi calcoli asserire il controfattuale C : 'se la lunghezza del pendolo a fosse ridotta a un quarto della sua lunghezza attuale, il suo periodo sarebbe la metà di quello attuale'. In modo simile, si può immaginare che un fisico, il quale stia cercando le ragioni dell'insuccesso di un esperimento già eseguito, asserisca il controfattuale C' : 'se la lunghezza del pendolo a fosse stata ridotta a un quarto della sua lunghezza attuale, il suo periodo sarebbe stato la metà di quello attuale'. In entrambi i condizionali, le clausole antecedenti e conseguenti descrivono supposizioni presumibilmente note come false.

Quello che ha preso il nome di "problema di controfattuali" è il problema di rendere esplicita la struttura logica degli enunciati di questo tipo e di analizzare su quali basi si possa decidere della loro verità o falsità. Il problema è strettamente connesso a quello di spiegare la nozione di universalità nomica. Infatti non si può tradurre un controfattuale direttamente in una congiunzione di enunciati all'indicativo facendo uso solamente dei soliti connettivi non-modali della logica formale. Per esempio, il controfattuale C' asserisce tacitamente che la lunghezza del pendolo a di fatto non è stata ridotta ad un quarto della sua reale lunghezza. Tuttavia, non si può rendere C' con il seguente enunciato: 'la lunghezza di a non è stata ridotta ad un quarto della sua reale lunghezza e se la lunghezza di a era ridotta ad un quarto della sua presente lunghezza allora il suo periodo era metà del suo periodo presente'. La traduzione proposta non è soddisfacente, perché, dato che la clausola antecedente del condizionale indicativo è falsa, segue dalle leggi della logica formale che se la lunghezza di a era ridotta ad un quarto della sua presente lunghezza, il suo periodo non era metà del periodo presente — conclusione certamente non accettabile per chi asserisca C' .¹⁵ Di conseguenza, i critici dell'analisi humana dell'universalità nomica hanno sollevato l'argomentazione che non soltanto negli universali di legge, ma anche nei condizionali controfattuali, è contenuto un tipo distintivo di necessità non logica.

Il contenuto dei controfattuali può nondimeno venir messo in luce in maniera plausibile senza dover ricorrere ad alcuna nozione modale non analizzabile. Infatti si può rendere ciò che sta dicendo il fisico che asserisce C' , nel modo seguente, più chiaro anche se più indiretto: l'enunciato 'il periodo del pendolo a era la metà del suo periodo

¹⁵ Questa conclusione segue in virtù della regola logica che governa l'uso del connettivo "se-allora". Secondo tale regola supposto che S_1 sia falso sono veri tanto l'enunciato della forma 'se S_1 allora S_2 ' quanto quello della forma 'se S_1 allora non S_2 ', qualunque possa essere S_2 .

attuale' segue logicamente dall'ipotesi 'la lunghezza di a era un quarto della sua lunghezza attuale', quando tale ipotesi venga congiunta con la legge che il periodo di un pendolo semplice è proporzionale alla radice quadrata della sua lunghezza, unitamente ad un certo numero di ulteriori assunzioni sulle condizioni iniziali rispetto alla legge (ad esempio, che a sia un pendolo semplice, che la resistenza dell'aria sia trascurabile). Di più, sebbene tanto l'ipotesi testé riferita quanto l'enunciato da essa dedotto con l'aiuto delle assunzioni citate siano riconosciutamente false, la loro falsità non è inclusa tra le premesse della deduzione. Pertanto *non* deriva da tali premesse che se la lunghezza di a era un quarto della sua lunghezza attuale, allora, il periodo di a era la metà di quello attuale. In breve, il controfattuale C' risulta asserito entro un certo contesto di assunzioni e supposizioni particolari; e quando queste vengono messe a nudo, è del tutto gratuita l'introduzione di categorie modali che non siano quelle della logica formale. Più in generale, un controfattuale può venir interpretato come un enunciato *metalinguistico* implicito (cioè un enunciato su *altri* enunciati, e in particolare sulle relazioni logiche di questi ultimi), il quale afferma che la forma indicativa della sua clausola conseguente segue logicamente dalla forma indicativa della sua clausola antecedente, quando quest'ultima venga congiunta con una legge e con le condizioni iniziali richieste per tale legge.¹⁶

Di conseguenza le discussioni intorno alla verità o non verità di un dato controfattuale possono giungere a una soluzione solo quando sono rese esplicite le assunzioni e le supposizioni su cui esso è basato. Un controfattuale che sia indiscutibilmente vero in base a un certo gruppo di tali premesse può esser falso in base ad un altro e può non avere un valore di verità determinato in base ad un terzo. Così, un fisico potrebbe respingere C' in favore del controfattuale: 'se la lunghezza del pendolo a fosse stata ridotta a un quarto della sua lunghezza attuale, il periodo di a sarebbe stato maggiore in maniera significativa della metà del suo periodo attuale'. Tale asserzione sarebbe giustificata se quel fisico ammettesse, ad esempio, che l'arco di oscillazione del pendolo accorciato fosse maggiore di 60° , e ammettesse altresì una forma modificata della legge sopra enunciata circa i periodi del pendolo (legge che viene asserita solo per i pendoli aventi piccoli archi di oscillazione). Ancora, un principiante in progettazione degli esperimenti potrebbe dichiarare vera C' , pur supponendo, tra l'altro, non soltanto che il pendaglio circolare del pendolo abbia un diametro di una decina

¹⁶ Sebbene la posizione adottata qui sia stata raggiunta in modo indipendente, la sua formulazione presente è debitrice ai punti di vista espressi in HENRY HIZ, *On the Inferential Sense of Contrary-to-Fact Conditionals*, "Journal of Philosophy", vol. 48 (1951), pp. 586-87; JULIUS R. WEINBERG, *Contrary-to-Fact Conditionals*, "Journal of Philosophy", vol. 48 (1951), pp. 17-22; RODERICK M. CHISHOLM, *Law Statements and Counterfactual Inference*, "Analysis", vol. 15 (1955), pp. 97-105; e JOHN C. COOLEY, *Professor Goodman's 'Fact, Fiction, and Forecast'*, "Journal of Philosophy", vol. 54 (1957), pp. 293-311.

di centimetri, ma anche che l'apparecchiatura contenente il pendolo abbia un'apertura di pochissimo superiore ai dieci centimetri nel punto in cui si trova il centro del pendaglio del pendolo accorciato. Eppure è evidente che in tal caso C' è falso, perché con tali assunzioni il pendolo accorciato non oscillerebbe affatto.

Le varie assunzioni sotto cui viene asserito un controfattuale non vengono enunciate nel controfattuale stesso. Può quindi risultare molto difficile la valutazione della validità del controfattuale — qualche volta perché non conosciamo tali assunzioni o perché non abbiamo chiaro in mente quali tacite assunzioni stiamo facendo, qualche altra volta semplicemente perché non siamo capaci di valutare il peso logico delle assunzioni che rendiamo esplicite. Spesso ci troviamo di fronte a difficoltà di questo genere, specialmente nel caso di controfattuali asseriti riguardo a questioni della vita di tutti i giorni o anche negli scritti degli storici. Si consideri, ad esempio, il controfattuale; 'se il Trattato di Versaglia non avesse imposto alla Germania delle indennità gravose, Hitler non sarebbe salito al potere'. Questa asserzione è stata molto controversa, non soltanto perché coloro che partecipano alla sua discussione adottano delle assunzioni esplicite diverse, ma anche perché una buona parte di tale discussione è stata condotta in base a premesse implicite che nessuno ha portato completamente in luce. In ogni caso, certamente non è possibile costruire una formula generale che prescriva precisamente cosa debba esser incluso nelle assunzioni su cui si possa adeguatamente basare un controfattuale. I tentativi di costruire una simile formula sono invariabilmente falliti, e coloro che vedono il problema dei controfattuali come quello di costruire tale formula sono destinati a lottare con un problema insolubile.

V. Leggi causali

Occorrerà dire qualcosa sulle leggi causali. Sarebbe un compito ingrato e inutile dibattere anche parzialmente gli svariati significati che sono stati annessi alla parola 'causa' — che vanno dalle antiche accezioni giuridiche della parola, attraverso la concezione popolare delle cause come agenti efficienti, fino alle più sofisticate nozioni moderne di causa come dipendenza funzionale invariabile. Il fatto stesso che la parola abbia uno spettro di applicazioni così ampio esclude immediatamente la possibilità che ne esista una spiegazione unica corretta e privilegiata. È tuttavia tanto possibile quanto utile identificare un significato abbastanza definito associato a questa parola in molte zone della scienza come pure nel discorso ordinario, con l'intento di ottenere da tale prospettiva una grossolana classificazione di leggi che servano come premesse nelle spiegazioni. Sarebbe invece erroneo supporre che, per il fatto che la nozione di causa, in uno dei significati della parola,

riveste una parte importante in qualche campo di indagine, la nozione stessa sia indispensabile in tutti gli altri campi — proprio come sarebbe erroneo sostenere che questa nozione, per essere priva di utilità in certe zone della scienza, non possa avere un ruolo legittimo in altre sezioni dello studio scientifico.

Il significato di 'causa' che desideriamo identificare è illustrato dal seguente esempio. Una scintilla elettrica viene fatta passare attraverso una miscela gassosa di idrogeno e ossigeno; l'esplosione che segue il passaggio della scintilla è accompagnata dalla scomparsa dei gas e dalla condensazione di vapor acqueo. Si dice comunemente che in questo esperimento la scomparsa dei gas e la formazione di acqua sono gli effetti che vengono causati dalla scintilla. Di più, la generalizzazione basata su tali esperimenti (cioè, 'ogniquale volta una scintilla passa attraverso una miscela gassosa di idrogeno e di ossigeno, i gas scompaiono e si forma acqua') è detta "legge causale".

Evidentemente si dice che la legge è causale perché la relazione da essa formulata tra gli eventi menzionati soddisfa per ipotesi quattro condizioni. In primo luogo la relazione è invariabile o uniforme, nel senso che ogniqualvolta si presenta la causa addotta si presenta anche l'effetto addotto. Vi è tuttavia la tacita e comune supposizione che la causa costituisca una condizione necessaria e sufficiente per il verificarsi dell'effetto. In via di fatto, tuttavia, la maggior parte delle attribuzioni causali fatte nelle faccende quotidiane, così come la maggior parte delle leggi causali citate frequentemente, non stabiliscono le condizioni sufficienti per il verificarsi dell'effetto. Così, spesso diciamo che lo strofinio di un fiammifero è la causa della sua combustione e tacitamente supponiamo che siano presenti altre condizioni, senza le quali l'effetto non si verificherebbe (ad es., la presenza di ossigeno, il fatto che il fiammifero sia asciutto). Spesso l'evento scelto come causa è normalmente un evento che completa l'insieme di condizioni sufficienti per il verificarsi dell'effetto, e che viene considerato per varie ragioni come "importante". In secondo luogo, è una relazione tra eventi spazialmente contigui, nel senso che la scintilla e la formazione di acqua avvengono approssimativamente nella stessa regione spaziale. Di conseguenza, quando degli eventi spazialmente lontani tra loro vengono presentati come in relazione causale, si suppone tacitamente che essi non siano altro che termini in una catena di cause ed effetti formata da eventi, dove gli eventi che costituiscono gli anelli sono spazialmente contigui. In terzo luogo, la relazione ha un carattere temporale, nel senso che l'evento che vien detto essere la causa precede l'effetto ed è anche "continuo" con quest'ultimo. Di conseguenza, quando si dice che eventi separati da un intervallo temporale sono in relazione causale, si suppone anche che essi siano collegati da una serie di eventi temporalmente adiacenti ed in relazione causale tra loro. Infine, la relazione è asimmetrica, nel senso che il passaggio della

scintilla attraverso la miscela di gas è la causa della loro trasformazione in acqua, ma la formazione di acqua non è la causa del passaggio della scintilla.

Le idee nei cui termini è stabilita questa nozione di causa sono state spesso oggetto di critica per la loro imprecisione, e obiezioni efficaci sono state sollevate in particolare contro le concezioni del senso comune di continuità spaziale e temporale, accusate di essere un focolaio di confusioni. È indubbiamente vero, d'altronde, che in alcune scienze progredite come la fisica matematica questa nozione è del tutto superflua; ed è pure discutibile che le quattro condizioni ora elencate vengano effettivamente soddisfatte negli esempi addotti per questa nozione di causa (come quello di cui sopra), quando si analizzino in termini delle teorie della fisica moderna. Tuttavia, anche se questa nozione di causa può risultare inadeguata per gli scopi della fisica teorica, essa continua a svolgere un compito in molte altre branche di ricerca. È una nozione fermamente incorporata nel linguaggio che adoperiamo, anche quando le teorie astratte della fisica vengano usate sia in laboratorio sia nelle faccende pratiche per ottenere vari risultati attraverso la manipolazione di apparecchiature appropriate. È infatti perché alcune cose possono venir manipolate in modo da produrne delle altre, ma non inversamente, che il linguaggio causale è un modo legittimo e conveniente per descrivere molte relazioni tra eventi.

Viceversa, non tutte le leggi di natura sono causali, nel senso ora indicato per questo termine. Ciò sarà reso evidente da una breve rassegna dei tipi di leggi che vengono usate come premesse esplicative in varie scienze.

1. Come si è già accennato, nella supposizione che esistano delle "specie naturali" o "sostanze" è contenuto un tipo di legge fondamentale e molto diffuso. Si chiami un "determinabile" una proprietà come il colore o la densità, che ha un certo numero di forme particolari o "determinate". Così, tra le forme determinate del "determinabile" colore vi sono il rosso, il blu, il verde, il giallo, ecc.; tra le forme determinate del "determinabile" densità vi sono la densità di grandezza 0,06 (misurata in qualche sistema fissato), la densità di grandezza 2, quella di grandezza 12, ecc. Le forme determinate di un dato determinabile costituiscono così una "famiglia apparentata" di proprietà tali, che ogni individuo di cui si possa affermare in modo significativo la proprietà determinabile, deve, per necessità logica, avere una ed una sola delle forme determinate del determinabile.¹⁷ Una legge del tipo considerato (ad es., 'esiste la sostanza salgemma') asserisce quindi che esistono oggetti di varie specie, tali che ogni oggetto di una data specie

¹⁷ Per questa terminologia, cfr. W. E. JOHNSON, *Logic*, vol. 1, Cambridge, England, 1921, c. 11; e RUDOLF CARNAP, *Logical Foundations of Probability*, Chicago, 1950, vol. 1, p. 75.

è caratterizzato da determinate forme di un gruppo di proprietà determinabili, e tali che oggetti appartenenti a specie diverse devono differire per almeno una (ma generalmente più di una) forma determinata di un determinabile comune. Per esempio, dire che un dato oggetto a è del salgemma equivale a dire che esiste un gruppo di proprietà determinabili (struttura cristallina, colore, punto di fusione, durezza, ecc.) tali che in certe condizioni fissate a ha una forma determinata per ciascuno di tali determinabili (a ha cristalli cubici, è incolore, ha densità 2,163, punto di fusione di 804 °C, grado di durezza 2 della scala di Mohs, ecc.). Inoltre, a differisce da un oggetto che appartiene ad una specie differente, per esempio dal talco, per almeno una forma determinata (e di fatto per più) di questi determinabili. Quindi, le leggi di questo tipo asseriscono che c'è una concomitanza invariabile di proprietà determinate in ogni oggetto che sia di una certa specie. Risulta tuttavia chiaro che le leggi di questo tipo non sono leggi causali — non asseriscono, per esempio, che la densità del salgemma precede (o segue) il suo grado di durezza.

2. Un secondo tipo di leggi asserisce un ordine sequenziale e invariabile di dipendenza tra eventi o proprietà. Se ne possono distinguere due sottotipi. Uno è costituito dalla classe delle leggi causali, come quella sull'effetto della scintilla in una miscela di idrogeno e ossigeno, o quella che i sassi gettati nell'acqua provocano una serie di increspature concentriche che si allargano. Un secondo sottotipo è costituito dalla classe delle leggi "di sviluppo" (o "storiche"), come la legge: 'la formazione dei polmoni nell'embrione umano non precede mai la formazione del sistema circolatorio' oppure la legge: 'il consumo di alcool è sempre seguito da dilatazione dei vasi sanguigni'. Questi due sottotipi sono frequenti in quei campi di studio in cui i metodi quantitativi non sono stati introdotti in misura notevole, benché, come mostrano gli esempi testé addotti, essi si possano benissimo incontrare in qualsiasi campo. Le leggi di sviluppo possono venir costruite nella seguente forma: 'se x ha la proprietà P al tempo t , allora x ha la proprietà Q al tempo t' posteriore a t '. Comunemente non vengono considerate come causali, evidentemente per due ragioni. In primo luogo, esse, benché possano enunciare una condizione necessaria per il verificarsi di un evento (o di un insieme di eventi), non ne enunciano le condizioni sufficienti. In effetti, abbiamo solitamente una nozione vaghissima su quali siano tali condizioni sufficienti. In secondo luogo, le leggi di sviluppo generalmente enunciano relazioni di ordine sequenziale tra eventi separati da un intervallo temporale di una certa durata. Conseguentemente tali leggi sono talvolta considerate come rappresentanti solo una analisi incompleta dei fatti, per la ragione che, dal momento che può intervenire qualche avvenimento dopo il realizzarsi dell'evento anteriore a prevenire il realizzarsi di quello posteriore,

l'ordine sequenziale degli eventi non appare come invariabile. Tuttavia, quali che siano i limiti delle leggi di sviluppo e per quanto desiderabile possa essere il loro completamento mediante leggi di un genere diverso, tanto le leggi causali quanto quelle di sviluppo sono largamente usate nei sistemi esplicativi della scienza corrente.

3. Un terzo tipo di legge, comune tanto nelle scienze biologiche e sociali quanto in fisica, afferma l'esistenza di relazioni invariabili statistiche (o probabilistiche) tra eventi o tra proprietà. Un esempio di questo tipo di leggi è il seguente: 'se si lancia ripetutamente un dado simmetrico dai punti di vista geometrico e fisico, la probabilità (o frequenza relativa) che esso si arresti con una faccia prefissata rivolta verso l'alto è $1/6$ '; altri esempi sono stati fatti in precedenza. Le leggi statistiche non affermano che il presentarsi di un evento è *invariabilmente* accompagnato dal presentarsi di un altro. Asseriscono solo che, in una serie di prove sufficientemente grandi, il verificarsi di un certo evento è accompagnato dal verificarsi di un altro con una *frequenza relativa invariabile*. Simili leggi sono evidentemente non causali, anche se non incompatibili con una giustificazione causale dei fatti intorno a cui si pronunciano. In effetti, la legge statistica ora ora citata sul comportamento di un dado può venir dedotta da leggi che talvolta vengono dette di tipo causale, se opportune ipotesi sulla distribuzione statistica delle condizioni iniziali vengono fatte per l'applicazione di tali leggi causali. Viceversa, esistono anche in fisica leggi statistiche per le quali al presente non si conoscono spiegazioni causali. Inoltre, anche se si ammette che "per principio" tutte le leggi statistiche siano conseguenze di qualche "ordine causale" sottostante, ci sono zone di indagine — tanto in fisica quanto nelle scienze biologiche e sociali — in cui non è probabilmente realizzabile in pratica la spiegazione di molti fenomeni in termini di leggi causali strettamente universali. È ragionevole presumere che, per quanto la nostra conoscenza possa accrescersi notevolmente, si continuerà ad usare leggi statistiche come le premesse immediate per la spiegazione e la previsione di numerosi fenomeni.

4. Un quarto tipo di leggi, caratteristiche della fisica moderna, asserisce una relazione di dipendenza funzionale (nel senso matematico di "funzione") tra due o più grandezze variabili associate con determinate caratteristiche o processi. Se ne possono distinguere due sottotipi.

a) In primo luogo, esistono delle leggi numeriche che stabiliscono una interdipendenza tra grandezze, tale che una variazione in una di esse è concomitante con variazioni nelle altre. Un esempio di una legge di questo genere è la legge dei gas ideali, di Boyle-Charles, che $pV = aT$, dove p è la pressione del gas, V il suo volume, T la sua temperatura assoluta, ed a una costante che dipende dalla massa e dalla natura del

gas considerato. Questa legge non è causale. Non asserisce, per esempio, che un cambiamento della temperatura è seguito (o preceduto) da un cambiamento del volume o della pressione; asserisce soltanto che un cambiamento di T è concomitante con cambiamenti di p o di V o di entrambi. In modo simile, si deve distinguere fra la relazione stabilita dalla legge e l'ordine sequenziale degli eventi che può aver luogo nel corso degli esperimenti di verifica della legge o quando la si usi per fare delle previsioni. Per esempio, nel verificare la legge in laboratorio, si può diminuire il volume di un gas ideale in modo tale che la sua temperatura resti costante, e quindi notare che la sua pressione aumenta. Ma la legge non dice nulla sull'ordine in cui le grandezze vanno variate, né sulla successione temporale con cui si possono osservare i cambiamenti. Ciononostante leggi di questo sottotipo possono venir usate tanto per esprimere previsioni quanto a scopo esplicativo. Per esempio, se, nel caso di un sistema appropriatamente "isolato", le grandezze nominate nella legge soddisfano ad un dato istante la relazione indicata che le lega, esse la soddisferanno in un istante futuro, anche se nel frattempo abbiano subito delle variazioni.

b) Un secondo sottotipo consiste di leggi numeriche che asseriscono in quale modo una grandezza vari col tempo, e più generalmente come un cambiamento di grandezza per unità di tempo sia in relazione con altre grandezze (in alcuni casi, ma non sempre, con durate temporali). Un esempio di queste leggi è costituito dalla legge di Galileo sulla caduta libera dei corpi nel vuoto. Essa dice che lo spazio s percorso da un corpo che cade liberamente è uguale a $gt^2/2$, dove g è una costante e t è la durata della caduta. Un modo equivalente per esprimere la legge di Galileo è dire che la variazione dello spazio percorso nell'unità di tempo per un corpo che cade liberamente è uguale a gt . In questa formulazione, è evidente che la variazione rispetto al tempo di una grandezza vien riferita ad un intervallo temporale. Un altro esempio di una legge che appartiene a questo sottotipo è la legge della velocità del pendaglio di un pendolo semplice lungo il suo cammino di moto. Tale legge dice che, se v_0 è la velocità del pendaglio nel punto più basso del suo moto, h l'altezza del pendaglio sull'orizzontale condotta per tale punto e k una costante, allora, in ogni punto appartenente all'arco del suo moto, il pendaglio ha una velocità v tale che $v^2 = v_0^2 - kh^2$. E poiché la velocità v è la variazione dello spazio nell'unità di tempo, la legge viene ad asserire in tal modo che la variazione della distanza del pendaglio lungo il suo cammino per unità di tempo è una certa funzione matematica della sua altezza e della velocità che esso possiede nel punto più basso della sua oscillazione. In questo caso, la variazione rispetto al tempo di una grandezza non è data come funzione del tempo. Le leggi appartenenti a questo sottotipo sono spesso chiamate "leggi dinamiche", perché formulano

la struttura di un processo temporale e sono generalmente spiegate in base all'ipotesi che nel sistema in considerazione agisca una "forza". Tali leggi vengono talvolta assimilate a quelle causali, sebbene di fatto non lo siano nel senso particolare distinto sopra in questa sezione. Infatti la relazione di dipendenza tra le variabili espressa dalla legge è simmetrica, in modo che lo stato del sistema a un dato tempo è determinato altrettanto completamente tanto da uno stato precedente quanto da uno seguente. Così, se conosciamo la velocità del pendaglio di un pendolo semplice in un dato istante, allora, sempre che non ci siano interferenze esterne col sistema, la legge sopra citata ci permette di calcolare la velocità in ogni altro tempo, anteriore o posteriore all'istante dato.

La classificazione di leggi testé accennata non viene proposta come esauriente; e, comunque, nei capitoli successivi si discuterà in modo più completo sulle strutture di certi tipi di leggi. La classificazione indica, tuttavia, che non tutte le leggi che si incontrano nelle scienze sono di un unico tipo, e che spesso si considera come soddisfacente una spiegazione scientifica anche se le leggi citate nelle premesse non sono "casuali" in nessuno dei significati abituali della parola.

Leggi sperimentali e teorie

Il pensiero scientifico ha il suo punto di partenza in problemi suggeriti dall'osservazione di cose e di eventi incontrati nell'esperienza comune; esso tende a comprendere tali osservabili scoprendovi un ordine sistematico; per esso il controllo finale delle leggi che servono da strumenti di spiegazione e di previsione risiede nel loro accordo con tali osservazioni. In effetti, numerose leggi scientifiche formulano relazioni tra oggetti o fra tratti caratteristici di oggetti, detti comunemente essi stessi osservabili, sia direttamente con i sensi sia con l'aiuto di particolari strumenti di osservazione. È di questa specie la legge che l'acqua in un recipiente scoperto, se riscaldata, può evaporare; altrettanto dicasi della legge che il piombo fonde a 327 °C, o di quella che il periodo di un pendolo semplice è proporzionale alla radice quadrata della sua lunghezza.

Ma non tutte le leggi scientifiche sono di questa specie. Al contrario, molte leggi impiegate in alcuni tra i sistemi esplicativi della fisica, di più imponente estensione, riguardano notoriamente materie che non verrebbero di solito caratterizzate come "osservabili", anche quando la parola "osservabile" fosse usata in un senso lato quanto quello degli esempi precedenti. Leggi di quest'ultima specie appaiono tra le premesse esplicative quando, ad esempio, si spiega l'evaporazione dell'acqua riscaldata in termini di ipotesi sulla costituzione molecolare dell'acqua. Benché si possano avere per queste ipotesi soddisfacenti prove osservative, tuttavia non è possibile osservare né le molecole né i loro moti nel senso in cui, ad esempio, si dice che è osservabile la temperatura dell'acqua bollente o il punto di fusione del piombo.

Battezzeremo la differenza immediatamente percepibile tra leggi, or ora notata, chiamando "leggi sperimentali" quelle della prima specie, e "leggi teoriche" (o semplicemente "teorie") quella della seconda specie. In accordo con questa stipulazione terminologica e con la distinzione da essa designata, vengono classificate come leggi sperimentali: quella secondo cui la pressione di un gas ideale a temperatura costante varia inversamente al volume; quella secondo cui il peso

dell'ossigeno che si combina con l'idrogeno per formare acqua è (approssimativamente) otto volte il peso dell'idrogeno; e quella secondo cui i bambini di genitori aventi gli occhi azzurri hanno essi pure gli occhi azzurri. Vengono invece classificate come teorie: il gruppo di ipotesi affermanti che i diversi elementi chimici sono composti di diverse specie di atomi i quali restano indivisi nel corso delle trasformazioni chimiche, ed il gruppo di ipotesi affermanti che i cromosomi sono composti di tipi diversi di geni i quali sono in relazione con i tratti ereditari degli organismi.¹

Tali etichette non vanno esenti da associazioni ingannevoli. Questa terminologia è tuttavia stabilita saldamente nella letteratura scientifica, ove si tratti di caratterizzare la distinzione di cui stiamo parlando tra specie di leggi; in ogni modo, non abbiamo a disposizione etichette migliori. Due brevi richiami possono essere di aiuto per prevenire interpretazioni erranee di queste denominazioni. Quando un'asserzione (ad es.: 'tutte le balene allattano i loro piccoli') è classificata come legge sperimentale, ciò non va inteso come se affermassimo che la legge sia basata su esperimenti di laboratorio o sia una di quelle per cui non esiste finora spiegazione. La denominazione "legge sperimentale" significa semplicemente che l'asserzione caratterizzata in tal modo formula una relazione tra oggetti (o loro tratti caratteristici) che sono osservabili, nel senso, manifestatamente ampio, di "osservabile" illustrato negli esempi precedenti, e che la legge può venir convalidata (anche se soltanto con qualche "grado di probabilità") attraverso l'osservazione controllata degli oggetti in essa menzionati. Analogamente, quando si chiama "teoria" il gruppo di ipotesi sulla costituzione molecolare dei liquidi, ciò non va inteso come se asserissimo che tali ipotesi siano interamente speculative e non sostenute da prove convincenti. Con tale caratterizzazione si intende semplicemente che quelle ipotesi usano termini come 'molecola', che evidentemente non designano niente di osservabile (nel senso indicato prima) e che esse non possono venir confermate da esperimenti o da osservazioni su ciò a cui tali termini si riferiscono.

Ciò nonostante, anche se la distinzione tra leggi sperimentali e teorie vien fatta di frequente e appare, almeno inizialmente, come plausibile, alla luce di alcuni degli esempi usati per illustrarla, essa genera problemi di considerevole importanza, che non possono venir ignorati. Una volta concessa la sua plausibilità iniziale, risulterà tale distinzione solidamente basata su differenze chiaramente identificabili tra due specie di leggi scientifiche? Di più, anche se si possono precisare alcune basi indiscutibili per tale distinzione, risulta essa così netta come

¹ Il presente capitolo poggia in misura notevole sulla discussione contenuta in *Physics, the Elements*, di NORMAN R. CAMPBELL, Cambridge, England, 1920, particolarmente nel capitolo 6. Il trattato, non ultimato, di Campbell non ha avuto il riconoscimento che le sue analisi, generalmente ammirabili, meriterebbero in misura così notevole.

talora si pretende, o si tratta solo di una differenza di grado? In ogni modo, ed ammettendo come difficilmente negabile che le ipotesi chiamate "teorie" conducano a sistemi di spiegazione e predizione molto piú vasti di quanto non siano i sistemi le cui premesse sono caratterizzate come "leggi sperimentali", quali lineamenti distintivi possiedono le teorie, che rendano conto di questa differenza? Il presente capitolo è dedicato a queste domande.

I. Fondamenti della distinzione

La ragione sopra addotta per la distinzione tra leggi sperimentali e teorie è basata sull'opinione che le leggi raccolte sotto la prima di tali denominazioni, a differenza di quelle raccolte sotto l'altra, formulano relazioni tra tratti caratteristici osservabili (o determinabili sperimentalmente) dell'argomento in esame. Conseguentemente tale distinzione soffre della ben nota mancanza di chiarezza attribuibile alla parola "osservabile". Vi è in effetti un senso di questa parola, tale che, se ci atteniamo ad esso, nessuna delle scienze familiari (con la sola eccezione possibile di alcune branche della psicologia) asserisce leggi che stabiliscano relazioni tra oggetti osservabili, esattamente come ne esiste un altro attenendoci al quale anche le ipotesi chiamate "teorie" trattano di argomenti osservabili.

Sarebbe certamente erroneo il sostenere che gli enunciati scientifici citati comunemente come esempi tipici di leggi sperimentali asseriscano relazioni tra dati appresi, come si pretende, direttamente o in maniera non inferenziale, attraverso vari organi di senso; cioè, tra i cosiddetti "dati sensoriali" delle discussioni epistemologiche. Anche trascurando le ben note difficoltà riguardo alla possibilità di identificare i "puri" dati sensoriali (cioè quelli categorizzati in maniera non inferenziale), è evidente che questi dati si presentano nella migliore delle ipotesi solo in modo intermittente e secondo schemi dotati di un ordine di successione e di concomitanza, che può (quando può) venir formulato da leggi universali solo con grandissime difficoltà. Comunque sia, nessuno degli esempi abituali di leggi sperimentali riguarda in effetti dati sensoriali, in quanto tutti impiegano nozioni ed implicano ipotesi che vanno molto al di là di quanto venga fornito direttamente dai sensi. Si consideri, ad esempio, la legge sperimentale secondo cui la velocità del suono è maggiore nei gas meno densi che in quelli piú densi. Questa legge suppone evidentemente che esiste uno stato di aggregazione della materia noto come "gas", che va distinto da altri stati di aggregazione come quello liquido e quello solido; che i gas in determinate condizioni abbiano densità differenti, tali che, in condizioni specificate, il rapporto tra il peso e il volume di un gas rimane costante; che gli strumenti di misura dei pesi e dei volumi, delle distanze e dei tempi,

mostrino certe regolarità, codificabili in leggi definite, come quelle sulle proprietà meccaniche, termiche e ottiche di varie specie di materiali; e così di seguito. È perciò chiaro che i veri significati dei termini che compaiono nella legge di cui sopra (ad esempio, il termine "densità") e, di conseguenza, il significato della legge stessa suppongono tacitamente una congerie di altre leggi. Per di piú, altre ipotesi diventano evidenti quando consideriamo cosa accade allorché si adducono prove a sostegno della legge. Ad esempio, quando si misura la velocità del suono in un dato gas, in genere si ottengono, ripetendo piú volte la misurazione, valori numerici differenti. Quindi, se si deve assegnare alla velocità un valore numerico definitivo, occorre in qualche modo "fare la media" dei diversi numeri a disposizione, solitamente in accordo con una legge assunta per gli errori sperimentali. In breve, la legge sulla velocità del suono nei gas non formula relazioni tra dati immediati dei sensi, bensí tratta di oggetti che possono venir identificati solo per mezzo di procedure che implicano catene di inferenze altamente complesse, nonché svariate assunzioni generali.

Viceversa, benché gli esempi di teorie citati solitamente consistano in enunciati intorno a oggetti che, in un senso ovvio, sono inosservabili, spesso è possibile per mezzo di inferenze tratte da dati dell'esperienza in accordo con certe regole, determinare indirettamente caratteristiche importanti di ciò che manifestamente è non osservabile. Da questo punto di vista, perciò, leggi sperimentali e teorie non appaiono differire radicalmente rispetto allo *status* "osservabile" (o determinabile sperimentalmente) dei rispettivi argomenti in esame. Ad esempio, le molecole assunte dalla teoria cinetica della materia come costituenti i gas sono effettivamente non osservabili, nel senso in cui è osservabile una parte dell'apparecchiatura di laboratorio o anche il nucleo di una cellula vivente vista al microscopio; tuttavia il numero di molecole nell'unità di volume del gas, come pure le loro masse e velocità medie, possono venir calcolate partendo da grandezze accertate sperimentalmente; né è logicamente assurdo supporre che alla fine tutti i termini di una teoria relativa a soggetti inosservabili (come le posizioni delle molecole in un dato istante) possano venir associati in modo analogo a dati sperimentali. Similmente, le tracce nella camera di Wilson delle particelle alfa postulate dalle attuali teorie sulla struttura atomica sono certamente visibili, anche se le particelle alfa stesse sono non osservabili nel senso in cui lo è, in linea di principio, l'altra faccia della Luna.

È pertinente inoltre osservare, a questo proposito, che spesso quanto è comunemente considerato osservazione sperimentale vien riferito esprimendosi nel linguaggio di quella che viene riconosciuta come una teoria. Ad esempio, esperimenti eseguiti su fasci di luce che passano da un dato mezzo ad un altro piú denso mostrano che l'indice di rifrazione varia con il tipo di luce del fascio. Così, un raggio uscente dal rosso dello spettro solare, ha un indice di rifrazione diverso di quello di un raggio

proveniente dal violetto. Tuttavia la legge sperimentale basata su questi esperimenti non è formulata in termini indiscutibilmente osservativi (ad es., in termini dei colori visibili dei raggi luminosi) bensì in termini della relazione tra l'indice di rifrazione di un raggio luminoso e la sua frequenza. In tal modo l'enunciato di una legge presumibilmente sperimentale assorbe i concetti della teoria ondulatoria della luce. Più in generale, molti enunciati di leggi, che si pretende siano sperimentali, non solo danno per sicure altre leggi che si pretende siano sperimentali, ma sembrano includere come facenti parte del loro significato delle assunzioni che sono manifestamente teoriche.

Per tali molteplici ragioni numerosi studiosi della questione hanno concluso che le etichette 'leggi sperimentali' e 'teoria' non designano leggi di specie fondamentalmente diversa, ma indicano ciò che è, nella migliore delle ipotesi, soltanto una differenza di grado. Secondo il parere di questi studiosi, quindi, la distinzione ha una importanza metodologica scarsa o nulla.

È dubbio se si possa assegnare utilmente alla parola "osservabile" un senso rigorosamente preciso; e nella misura in cui la distinzione tra leggi sperimentali e teorie è basata su un contrasto tra quanto è osservabile e quanto non lo è, essa risulta palesemente una distinzione non netta. In ogni caso, non si dispone di nessun criterio rigoroso per distinguere tra leggi sperimentali e teorie, né qui ne verrà proposto alcuno. Non ne segue però che la distinzione, per il fatto di essere vaga, sia spuria, più di quanto non segua che non esista differenza tra la parte anteriore e quella posteriore della testa umana per il fatto che non vi è una netta linea di demarcazione tra di esse. In effetti esistono molte caratteristiche ben delineate che differenziano le leggi che seguiranno a chiamare "sperimentali" da altre assunzioni generali che designamo come "teoria"; procederemo pertanto all'esame di tali caratteristiche. A dispetto della riconosciuta imprecisione della distinzione che stiamo discutendo, vedremo che tale distinzione riveste una grande importanza.

1. Forse la caratteristica che pone più in risalto la distinzione tra leggi sperimentali e teorie, è quella che ogni termine costante "descrittivo" (ossia non logico) delle prime — e in generale non delle seconde — è associato ad almeno una procedura palese per attribuire a tale termine qualche tratto identificabile per via osservativa quando si realizzino certe circostanze specificate. La procedura associata ad un termine in una legge sperimentale fissa quindi un suo significato definito, anche se solo parziale. Di conseguenza una legge sperimentale, a differenza di un enunciato teorico, possiede invariabilmente un contenuto empirico determinabile, che per principio può venir sempre controllato per mezzo di una prova osservativa ottenuta con tali procedure. Questo punto è illustrato chiaramente dalla legge

summenzionata relativa alla velocità del suono nei gas. Esistono procedure ben stabilite per accertare la densità di un gas e per misurare la velocità del suono nei gas; tali procedure determinano i sensi in cui vanno intesi i corrispondenti termini della legge, che può quindi venir provata alla luce dei dati acquisiti per mezzo delle procedure stesse.

Ogni termine descrittivo di una legge sperimentale L ha quindi un significato che è fissato da una procedura osservativa o di laboratorio. Se inoltre si suppone che una legge L abbia un contenuto genuinamente empirico (a differenza di un enunciato il quale di fatto definisce semplicemente alcuni termini che compaiono in esso), le procedure associate ai termini di L possono in generale venir istituite senza impiegare tacitamente L . Così, la densità di un gas e la velocità del suono nei gas possono venir accertati per mezzo di procedure che non fanno ricorso alla legge sulla dipendenza della velocità del suono in un gas dalla densità del gas. Di conseguenza, benché il significato operativo di un dato termine P possa venir accresciuto a causa delle relazioni che, secondo quanto asserito da L , P ha con altri termini della legge, in generale P possiede un significato determinato, indipendente dal suo figurare in L e distinguibile da ogni ulteriore significato che il termine può acquistare per il fatto di figurare in L . È quindi possibile ottenere, per una legge sperimentale, una prova diretta (una prova cioè basata sull'esame dei casi che cadono entro il campo predicativo della legge), sempre che non interferiscano difficoltà inerenti ai normali limiti della tecnologia sperimentale.

Si dà tuttavia frequentemente il caso che sia disponibile più di una procedura per applicare un termine, che compare in una legge sperimentale, a un argomento concreto. Ciò si verifica generalmente quando un termine compare in più di una legge sperimentale. Per esempio, il termine 'corrente elettrica' entra almeno in tre distinte leggi sperimentali, che lo mettono in relazione a fenomeni rispettivamente magnetici, chimici e termici. E infatti l'intensità di una corrente elettrica può esser misurata dalla deviazione di un ago magnetico, dalla quantità di un elemento, ad esempio l'argento, depositato da una soluzione in un tempo dato, o dall'aumento della temperatura di una sostanza standard durante un intervallo di tempo determinato. Tuttavia la tacita assunzione che sottostà all'uso di queste diverse procedure è che esse portino a risultati concordi. Così, due correnti che risultano di uguale intensità in seguito alla determinazione effettuata per mezzo di una procedura sono (almeno approssimativamente) di uguale intensità anche secondo le altre procedure. Inoltre, quando esistono parecchie di tali palesi procedure per un termine di una legge sperimentale, spesso, in molti campi scientifici, accade che una di esse venga prescelta come standard per "definire" il termine e misurare la proprietà da esso designata.

A differenza di quanto avviene uniformemente per i termini descrittivi delle leggi sperimentali, i significati di molti termini descrittivi (se non di tutti) che compaiono nelle teorie non sono specificati da siffatte palesi procedure sperimentali. Certamente, le teorie sono spesso costruite in analogia a qualche materia familiare, così che la maggior parte dei termini teorici è associata a concetti e immagini derivati dalle analogie di partenza. Tuttavia i significati operativi della maggior parte dei termini teorici sono definiti solo implicitamente dai postulati teorici in cui tali termini compaiono, oppure sono fissati solo indirettamente alla luce delle eventuali applicazioni della teoria. Così, benché termini teorici come 'elettrone', 'neutrino', o 'gene' possano venir intesi come "particelle" in possesso di alcune proprietà (benché non necessariamente di tutte) che caratterizzano piccole porzioni di materia, non esistono procedure palesi per l'applicazione di tali termini a loro casi singoli sperimentalmente identificabili. Ci diffonderemo ora su questi punti. Per il momento notiamo semplicemente la conseguenza importante che, essendo i termini fondamentali di una teoria generalmente non associati a definite procedure sperimentali per la loro applicazione non si possono identificare per via osservativa i casi che cadono entro il campo predicativo ostensibile di una teoria, così che quest'ultima (a differenza di una legge sperimentale) non può venir sottoposta a un controllo sperimentale diretto.

2. Un corollario immediato della differenza testé esaminata tra leggi sperimentali e teorie è che, mentre le prime potrebbero, in linea di principio, venir proposte ed asserite quali generalizzazioni induttive fondate su relazioni riscontrate valide nei dati osservati, per le ultime ciò non potrà mai verificarsi. Per esempio, Boyle fondò la legge che prese il nome da lui su osservazioni ottenute attraverso l'esame delle variazioni dei volumi dei gas a temperatura costante quando vengano fatte variare le pressioni; e poté asserire la validità generale della proporzionalità inversa tra pressioni e volumi, in base all'assunzione che quanto era vero per i campioni osservati fosse vero universalmente. Indubbiamente è spesso possibile suffragare una legge sperimentale non solo attraverso la convalidazione di dati diretti, ma anche attraverso una prova indiretta; è anzi quest'ultima la maniera in cui può spesso venir suffragata una legge sperimentale, quando sia incorporata entro un sistema completo di leggi. Così, la legge di Galileo sulla caduta libera dei gravi può venir confermata direttamente dai dati sugli spazi percorsi da essi in vari tempi, e indirettamente da esperimenti sui periodi dei pendoli semplici, e ciò in quanto la legge di Galileo e quella dei pendoli semplici sono intimamente connesse in virtù del loro far parte del sistema della meccanica newtoniana. Ed è ugualmente innegabile che alcune leggi sperimentali (come quella relativa alla rifrazione conica della luce nei cristalli biassiali) sono state all'origine

suggerite da considerazioni teoriche, e solo in seguito furono confermate dall'esperienza diretta. Il punto cruciale resta tuttavia quello che non si può ritenere stabilita una legge sperimentale, finché non si dispone per essa di una prova diretta sperimentale.

Una teoria, invece, per la sua natura stessa, non può essere una generalizzazione empirica di dati osservativi, in quanto in genere non vi sono casi identificati sperimentalmente che cadono entro il campo predicativo ostensibile della teoria. Scienziati eminenti hanno ripetutamente rivendicato per le teorie il carattere di "libere creazioni della mente". Una simile rivendicazione non significa, evidentemente, che le teorie non possano venir suggerite da materiale osservativo o che non richiedano conferma dalla prova osservativa. Ciò che tale rivendicazione, a buon diritto, vuole affermare, è che non è necessario che i termini fondamentali di una teoria possiedano significati fissati da procedure sperimentali ben determinate, e che una teoria può risultare adeguata e feconda sebbene la sua prova sia necessariamente indiretta. E di fatto vi sono nella storia della scienza moderne teorie che vennero accolte da molti scienziati in un'epoca in cui non erano disponibili recenti conferme sperimentali per tali assunzioni esplicative; epoca in cui l'unica ragione per accettarle era quella che esse potevano spiegare certe leggi sperimentali considerate come stabilite in base a dati osservativi previamente accumulati in epoca precedente. Questo fu, a un determinato momento, lo *status* della teoria copernicana del sistema solare, della teoria corpuscolare della luce, della teoria atomica in chimica, e della teoria cinetica dei gas.²

Quindi, anche quando una legge sperimentale viene spiegata con una data teoria, ed in tal modo è incorporata nel quadro delle idee di quest'ultima (e ciò in una maniera che ora analizzeremo), essa continua a presentare due caratteristiche. Conserva un significato che può venir formulato indipendentemente dalla teoria; ed è basata su prove osservative che possono metterla in grado di sopravvivere ad un eventuale venir meno della teoria. Così, la legge di Wien (che asserisce che la lunghezza d'onda corrispondente al massimo di energia nello spettro della radiazione emessa da un corpo nero è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta del corpo radiante) non venne respinta allorché l'elettrodinamica classica, che forniva una spiegazione della legge, fu

² Quando nel 1923 Sir Arthur Eddington pubblicò il suo libro sulla relatività generale, osservò che la diffusione dell'interesse per tale teoria era dovuta alla verità sperimentale di certe piccole deviazioni dalle leggi newtoniane, che la teoria aveva previsto. Egli però aggiungeva: "Per quelli che sono tuttora dubbiosi ed esitanti nell'abbandonare la vecchia fede, queste deviazioni rimarranno il centro principale di interesse; ma per coloro che hanno colto lo spirito delle nuove idee, le previsioni osservative costituiscono solo la parte meno importante dell'argomento. È questa una teoria della quale si afferma che conduca ad una comprensione del mondo della fisica più chiara e più penetrante di quella raggiunta in precedenza, ed è stato mio scopo svolgere la teoria in forma tale da illuminare il più possibile l'origine e il significato delle grandi leggi della fisica". A. S. EDDINGTON, *The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, England, 1924.

modificata con l'introduzione dell'ipotesi quantistica di Planck. Né fu abbandonata la legge di Balmer (secondo cui le frequenze delle onde corrispondenti alle righe dell'idrogeno e degli altri elementi nello spettro sono termini di una serie secondo una formula numerica piuttosto semplice) quando la teoria dell'atomo di Bohr, che spiegava la legge, fu sostituita dalla nuova meccanica quantistica. Tali fatti mostrano che una legge sperimentale ha, per così dire, una vita propria, non dipendente dalla continuazione della vita di una particolare teoria che possa spiegare la legge stessa. Nonostante ciò che appare come un completo assorbimento di una legge sperimentale da parte di una data teoria, al punto che si possa perfino impiegare, per enunciare la legge, lo speciale linguaggio tecnico della teoria, la legge deve essere intelligibile (nonché deve poter venir stabilita) senza far ricorso ai significati ad essa associati in virtù del suo risultare spiegata da quella teoria. E infatti, se così non fosse per le leggi che una data teoria intende spiegare, alla teoria non rimarrebbe nulla da spiegare. Alla peggio, quindi, ed a costo di una fatale circolarità, anche se i termini che figurano in una legge sperimentale hanno significati in parte derivanti da altre teorie, essi devono avere determinati significati specificabili (quantunque solo in parte) indipendentemente dalla particolare teoria adottata per spiegare la legge.

Viceversa, le nozioni teoriche non possono venir comprese fuori dalla particolare teoria che le definisce implicitamente. Ciò deriva dal fatto che, anche se ai termini teorici non è assegnato dai postulati della teoria un insieme unico di significati determinati, i significati possibili sono limitati a quelli che soddisfano la struttura delle interrelazioni in cui i postulati stessi pongono i termini. Quindi, quando vengano alterati i postulati fondamentali della teoria, cambiano pure i significati dei suoi termini fondamentali, anche se (come spesso accade) si continuano ad adoperare nella teoria modificata le stesse espressioni linguistiche di quella originaria. Presumibilmente la nuova teoria continuerà a spiegare tutte quelle leggi sperimentali che la teoria precedente poteva spiegare, e in più spiegherà leggi sperimentali di cui l'altra non poteva render conto. Ma in conseguenza del cambiamento del contenuto teoretico della nuova teoria, le regolarità identificabili per via osservativa formulate dalle leggi sperimentali e spiegate tanto dalla teoria vecchia quanto da quella nuova, riceveranno in effetti delle interpretazioni teoriche diverse dall'una all'altra.

Questi punti meritano una illustrazione più completa. Consideriamo a questo scopo il famoso esperimento di Millikan della goccia d'olio. Esso (eseguito per la prima volta nel 1911 e ripetuto parecchie volte con tecniche perfezionate) fu condotto entro il quadro di una teoria che postulava l'esistenza di particelle inosservabili chiamate "elettroni". Si supposeva che gli elettroni possedessero il corredo usuale di caratteristiche delle particelle (come posizioni spaziali determinate in dati

istanti, velocità determinate negli stessi istanti, e masse), e in più fossero i portatori di una carica elettrica elementare. L'obiettivo dell'esperimento di Millikan era quello di determinare il valore numerico e della carica elementare. L'esperimento consiste essenzialmente nel confrontare la velocità di una gocciolina d'olio quando si muove tra due piastre orizzontali di metallo sotto l'azione della sola gravità, con la velocità della stessa gocciolina quando si muove (in conseguenza della carica in essa indotta dalle cariche elettriche delle piastre) sotto l'azione tanto delle forze gravitazionali quanto di quelle elettrostatiche. L'esperimento mostra che variando la carica delle piastre, varia anche la velocità della goccia d'olio. Facendo ricorso a leggi sperimentali ben note, è possibile calcolare la grandezza delle cariche indotte sulla goccia e in tal modo render conto della differenza rilevata nel suo moto. Millikan trovò che, entro i limiti dell'errore sperimentale, le cariche sulla goccia sono sempre multipli interi di una carica elementare e ($4,77 \times 10^{-10}$ unità elettrostatiche); ne concluse che e è la carica elettrica minima, e la identificò con la carica di un elettrone.

È importante notare che abbiamo descritto (anche se solo per sommi capi) l'esperimento della goccia d'olio senza far riferimento agli elettroni. In modo simile si potrebbe svolgere una descrizione più dettagliata dell'esperimento. È quindi evidente che si può effettuare l'esperimento e riferire il suo svolgimento senza assumere la teoria degli elettroni, la quale in effetti suggerì l'esperimento stesso ed offre un'interpretazione chiarificatrice e feconda dei suoi risultati. La teoria degli elettroni ha tuttavia subito importanti modifiche da quando Millikan eseguì per la prima volta l'esperimento, ed è perfettamente concepibile (anche se attualmente non è probabile) che tale teoria possa venir un giorno completamente abbandonata. Tuttavia, la verità della legge sperimentale che Millikan contribuì a stabilire (e cioè, che tutte le cariche elettriche sono multipli interi di una certa carica elementare) non dipende dal destino della teoria; e, purché le sue prove osservative dirette continuino a confermare la legge, questa può sopravvivere a una lunga serie di teorie eventualmente accettate in futuro per spiegarla. Viceversa, cosa debba essere un elettrone è enunciato da una teoria in cui compare la parola 'elettrone'; quando tale teoria venga alterata, il significato della parola subirà una modificazione. In particolare, benché la stessa parola 'elettrone' sia usata nelle teorie prequantistiche sulla costituzione elettronica della materia, nella teoria di Bohr e nelle teorie posteriori, il significato di tale parola non è lo stesso in tutte queste teorie. I fatti stabiliti dall'esperimento della goccia d'olio ricevono quindi dalle varie teorie diverse interpretazioni, anche se in tutti i casi sono formulati attraverso l'affermazione che la carica elementare determinata dall'esperimento è la carica "dell'elettrone".

3. Vi è un'altra cospicua differenza degna di nota tra leggi sperimentali e teorie. Una legge sperimentale è formulata, senza eccezioni, in un enunciato singolo; una teoria è, quasi senza eccezioni, un sistema di piú enunciati connessi. Questa differenza ovvia è però soltanto l'indicazione di qualcosa di piú importante e piú significativo, e precisamente della maggior generalità delle teorie e del fatto che il loro potere esplicativo è relativamente piú ampio. Come si è già notato, le leggi sperimentali possono esser usate tanto per spiegare e prevedere il verificarsi di eventi singoli, quanto per spiegare altre leggi sperimentali. Tuttavia, le materie di cui le leggi sperimentali possono fornire una spiegazione sono, sotto certi aspetti facilmente identificabili, qualitativamente simili, e costituiscono una classe di cose abbastanza determinata. Per esempio, la legge di Archimede sulla spinta dei liquidi rende possibile la spiegazione di svariate altre leggi sperimentali, come quella che il ghiaccio galleggia sull'acqua, che una sfera di piombo piena posta in acqua affonda mentre se è cava e ha uno spessore conveniente galleggia, oppure la legge che tutto ciò che galleggia sull'olio galleggia anche sull'acqua. Ma queste leggi, nonostante le differenze tra gli argomenti che rientrano nei loro campi, riguardano tutte fenomeni di galleggiamento. Il dominio delle cose che possono venir spiegate mediante la legge di Archimede è quindi piuttosto ristretto. Altre leggi sperimentali partecipano della stessa caratteristica. Ciò è di fatto inevitabile, dal momento che i termini che compaiono in una legge sperimentale sono associati ad un piccolo numero di procedure palesi che fissano i significati e i campi di applicazione di tali termini.

Invece, molte delle principali teorie scientifiche sono in grado di spiegare una varietà molto maggiore di leggi sperimentali e quindi possono aver a che fare con un campo piú esteso di materie, qualitativamente molto dissimili. Questo carattere delle teorie è in relazione tanto al fatto che le nozioni teoriche non sono legate a un determinato materiale osservativo per mezzo di un insieme fisso di procedure sperimentali, quanto a quello che esse godono, in virtù della loro complessa struttura simbolica, di un numero maggiore di gradi di libertà nel venir estese a diverse regioni. Abbiamo già notato come la legge di Newton riesca a spiegare le leggi dei moti dei pianeti, della caduta libera dei gravi, dell'azione delle maree, delle forme delle masse rotanti; a queste possiamo aggiungere le leggi sul galleggiamento dei liquidi e dei gas, sui fenomeni di capillarità, sulle proprietà termiche dei gas, nonché varie altre. Similmente, l'attuale teoria dei quanti può spiegare le leggi sperimentali dei fenomeni spettrali, delle proprietà termiche dei solidi e dei gas, della radioattività, delle interazioni chimiche e di molti altri fenomeni.

È infatti una delle funzioni piú importanti di una teoria quella di mettere in evidenza le connessioni sistematiche tra leggi sperimentali che riguardano argomenti qualitativamente disparati. Sotto questo

aspetto sono specialmente degne di nota le teorie delle scienze naturali, particolarmente della fisica, anche se entro quest'ultima non tutte le teorie siano pari nel raggiungere tale obiettivo. Tuttavia la spiegazione di leggi sperimentali già stabilite non è la sola funzione che ci si aspetta da parte delle teorie. Un'altra funzione assolta dalle teorie e che le differenzia dalle leggi sperimentali è quella di offrire spunti per nuove leggi sperimentali. Per esempio, la teoria dell'elettrone, con la sua ipotesi che gli elettroni siano i portatori di una carica elementare, ha suscitato il problema della possibilità di accertare sperimentalmente la grandezza di tale carica. È improbabile che Millikan (o chiunque altro) avrebbe escogitato l'esperimento della goccia d'olio, se una qualche teoria atomistica dell'elettricità non avesse già suggerito un problema che appariva importante alla luce della teoria stessa e che tale esperimento intendeva risolvere. Così nessuno, sembra, ha preso l'iniziativa di stabilire per via sperimentale se quantità misurabili di calore sono tutte multipli interi di un "quanto di calore" elementare. È almeno plausibile il supporre che non si siano eseguiti esperimenti di questo genere perché non sono sorte teorie del calore che suppongano l'esistenza di quanti di calore, onde non è apparso interessante intraprendere un'indagine sperimentale nella direzione di tale ipotesi.

II. Tre componenti principali delle teorie

Si può dunque fare una distinzione tra leggi sperimentali e teorie su una base ragionevolmente buona, anche se non si tratta di una distinzione precisa. In ogni modo la adotteremo, in larga misura per le ragioni già esposte, ma in parte anche perché essa ci permette di riunire entro una categoria conveniente degli importanti problemi che riguardano soprattutto le ipotesi esplicative aventi le caratteristiche generiche di quelle che stiamo chiamando "teorie". Considereremo ora piú da vicino l'articolazione delle teorie, esaminando in quale modo esse siano connesse a materie che nella pratica scientifica normale vengono considerate come oggetti di osservazione e di esperimento.

A scopo di analisi, risulta conveniente distinguere tre componenti in una teoria: 1) un calcolo astratto che è lo scheletro logico del sistema esplicativo, e che "definisce implicitamente" le nozioni fondamentali del sistema; 2) un insieme di regole che assegna effettivamente un contenuto empirico al calcolo astratto, col metterlo in relazione a materie concrete di osservazione e di esperimento; e 3) un'interpretazione o modello del calcolo astratto, che fornisce per così dire la carne alla struttura scheletrica, in termini di materie concettuali o visuali piú o meno familiari. Svolgeremo queste distinzioni nell'ordine in cui sono state enunciate. Esse, tuttavia, assai di rado vengono formulate esplicitamente nella prassi scientifica attuale, né corrispondono ad effettive

fasi nella costruzione delle spiegazioni teoriche. Non si deve quindi credere che l'ordine di esposizione adottato qui rispecchi l'ordine temporale secondo cui nascono le teorie nelle menti dei singoli scienziati.

1. Una teoria scientifica (come la teoria cinetica dei gas) è spesso suggerita da materia di esperienza familiare o da certe caratteristiche notate in altre teorie. Infatti le teorie sono solitamente formulate in modo che varie nozioni, più o meno visualizzabili, siano associate con le espressioni non logiche in esse presenti, cioè con termini "descrittivi" o "relativi al contenuto", come 'molecole', o 'velocità', che, a differenza delle particelle logiche del tipo di 'se-allora' e 'ogni', non appartengono al vocabolario della logica formale, bensì sono termini particolari di un discorso relativo a uno specifico contenuto. Tuttavia, i termini non logici di una teoria possono sempre venir dissociati dai concetti e dalle immagini che normalmente li accompagnano con l'ignorare questi ultimi, in modo che l'attenzione è diretta esclusivamente alle relazioni logiche in cui i termini stanno tra loro. Quando si sia fatto così, e quando una teoria sia stata codificata con esattezza in modo da aver acquistato la forma di un sistema deduttivo (compito sempre realizzabile in linea di principio, quantunque spesso difficile nella pratica), le assunzioni fondamentali della teoria altro non formulano che una struttura relazionale astratta. Da questo punto di vista, quindi, le assunzioni fondamentali di una teoria costituiscono un insieme di postulati astratti o non interpretati, i cui termini costitutivi non logici non hanno altri significati che quelli che ad essi derivano dalla loro posizione entro i postulati, così che i termini di base della teoria sono "implicitamente definiti" dai suoi postulati. Inoltre, dal momento che i termini teorici di base sono definiti solo implicitamente dai postulati della teoria, questi ultimi non asseriscono nulla, in quanto sono piuttosto schemi di enunciati che enunciati veri e propri (ciò significa che sono espressioni aventi la forma di enunciati senza esserlo), e possono venir esaminati solo con l'intenzione di derivarne altre forme di enunciati conformemente alle regole della deduzione logica. In breve, una teoria scientifica completamente articolata contiene entro se stessa un calcolo astratto che costituisce la struttura scheletrica della teoria.

Qualche esempio aiuterà a rendere chiaro cosa si intenda dicendo che i postulati di una teoria definiscono implicitamente i suoi termini. Un esempio familiare di calcolo astratto è dato dalla geometria euclidea, in quanto dimostrata dal sistema dei suoi postulati. Tali postulati vengono spesso formulati per mezzo delle espressioni 'punto', 'retta', 'piano', 'giace tra', 'congruente' e altre, che costituiscono i termini di base. Benché tali espressioni siano di uso comune per caratterizzare configurazioni e relazioni spaziali, e siano quindi impiegati generalmente con significati associati alla nostra esperienza spaziale, tali significati sono irrilevanti per l'elaborazione deduttiva dei postulati ed è preferibile

ignorarli. Di fatto, per evitare che i significati familiari ma vaghi di quelle espressioni compromettano il rigore delle prove entro il sistema, i postulati della geometria sono spesso formulati ricorrendo all'uso di variabili effettivamente predicative come 'P' e 'R' al posto dei predicati descrittivi, più intuitivi ma anche più facilmente fuorvianti, 'punto' e 'retta'. In ogni caso, alla domanda: "cos'è un punto?" e "cos'è una retta?" (o, analogamente, "che tipo di cose sono P e R?"), l'unica risposta che si può dare in una geometria dimostrata a partire da postulati è che qualsiasi cosa che soddisfi le condizioni stabilite dai postulati è rispettivamente un punto o una retta. È in questo senso che le parole 'punto' e 'retta' sono implicitamente definite dai postulati.

In modo analogo, le assunzioni che formulano una teoria fisica, ad esempio quella cinetica dei gas, forniscono soltanto una definizione implicita di termini come 'molecola' o 'energia cinetica delle molecole'. Infatti queste assunzioni enunciano solo la struttura delle relazioni in cui compaiono gli anzidetti termini, stipulando in tal modo le condizioni formali da soddisfarsi da qualsiasi cosa cui tali termini possano applicarsi come etichette. Senza dubbio, essi sono comunemente associati a un insieme di immagini e di nozioni familiari, soddisfacenti dal punto di vista intuitivo e hanno di conseguenza un potere di suggestione che li fa apparire dotati di significato indipendentemente dai postulati in cui figurano. Tuttavia, sono le assunzioni della teoria a prescrivere, ad esempio, cosa debba essere una molecola; né c'è, in effetti, modo per accertare cosa sia la "natura" delle molecole, fuorché quello di esaminare la teoria molecolare. Ed è, in ogni modo, la nozione di 'molecola', quale viene implicitamente definita dai postulati, quella che assolve il compito che ci si aspetta dalla teoria.

A causa della loro importanza, è desiderabile chiarire ancora più a fondo il carattere delle definizioni implicite. Il calcolo geometrico è fondo troppo complesso perché lo si possa presentare dettagliatamente qui; ed ancor maggiore è la complessità dei calcoli che fan parte delle più importanti teorie scientifiche. Un esempio abbastanza semplice di definizioni implicite è fornito dal seguente gruppo di postulati astratti, in cui, oltre alla terminologia dell'aritmetica, è adoperato il linguaggio del calcolo delle classi. Se A e B sono due classi qualsiasi, la loro somma logica $A \vee B$ è la classe i cui elementi appartengono o ad A , o a B , o ad entrambe; il loro prodotto logico $A \cdot B$, invece, è la classe i cui elementi appartengono tanto ad A quanto a B ; il complemento $\neg A$ della classe A è la classe i cui elementi non appartengono ad A ; e la classe nulla Λ è la classe che non contiene elementi. Il sistema ha quattro postulati:

1) K è una classe, e F è la classe delle sottoclassi di K tali che, se A è un elemento di F , lo è anche $\neg A$; e se B è pure un elemento di F , lo sono anche $A \vee B$ e $A \cdot B$. (In linguaggio tecnico, F è chiamato il "campo delle classi su K ".)

- 2) Per ogni A di F , esiste un numero reale p associato ad A in modo che $p(A) \geq 0$.
 3) $p(K) = 1$.
 4) Se A e B appartengono a F , e $A \cdot B = \Lambda$, allora $p(A \vee B) = p(A) + p(B)$.

Da questo insieme è possibile derivare un gran numero di teoremi, per esempio quello che per ogni A di F , $0 \leq p(A) \leq 1$, o il teorema che per ogni A e B di F , $p(A \vee B) = p(A) + p(B) - p(A \cdot B)$. Qui però non ci interessano i teoremi, ma le definizioni implicite fornite dai postulati (e quindi anche dai teoremi). I postulati lasciano completamente all'oscuro quali siano le classi specifiche sulle quali si sta discutendo e su quale sia il significato del numero p associato ad ogni classe; tuttavia, essi impongono certe condizioni ad ogni insieme di classi e ad ogni insieme di numeri associati, perché questi ultimi soddisfino i postulati. In particolare, benché i postulati non enuncino quali proprietà determinate delle classi vengano misurate dai numeri associati p , questi devono giacere nell'intervallo da 0 a 1; inoltre, devono esser tali che il numero associato alla somma logica delle classi non sia mai minore di quello associato all'uno o all'altro dei addendi. La proprietà delle classi misurate dal numero p è quindi definita solo implicitamente. I postulati specificano solo la struttura dei sistemi di classi e dei numeri ad esse associati, non il carattere sostanziale di un particolare sistema.

2. È chiaro tuttavia che se una teoria deve spiegare delle leggi sperimentali, non è sufficiente che i suoi termini siano definiti solo implicitamente. Se non si aggiunge qualcosa che indichi in qual modo i suoi termini implicitamente definiti siano in rapporto con le idee che compaiono nelle leggi sperimentali, una teoria non può venire affermata o negata con significato né, ad ogni modo, può risultare utile dal punto di vista scientifico. Ovviamente è privo di senso domandare se, per esempio, l'insieme di postulati enunciati al paragrafo precedente è vero o falso, oppure se $p(A)$ ha un certo valore — mettiamo $\frac{1}{2}$. Infatti i postulati, così come sono stati enunciati, non rivelano quale sia il contenuto del discorso — qualora esista — per il quale si è supposto che valgano, o quale proprietà delle classi si supponga misurata dai numeri associati. Analogamente, i postulati della teoria cinetica dei gas non forniscono alcun suggerimento riguardante le materie, sperimentalmente determinabili, di cui trattino i termini implicitamente definiti — anche quando si assuma, per esempio, il significato di particella impercettibile per il termine molecola. Perché la teoria possa venir usata come strumento di spiegazione e di previsione, è necessario che essa venga collegata in qualche modo con oggetti osservabili.

La indispensabilità di simili collegamenti è stata ripetutamente sot-

tolineata nella recente letteratura, e per essi sono stati conati i più diversi nomi: definizioni coordinatrici, definizioni operative, regole semantiche, regole di corrispondenza, correlazioni epistemologiche e regole di interpretazione.³ I modi secondo cui sono in relazione le nozioni teoriche e le procedure osservative sono spesso complessi, così che non sembra possibile rappresentarli tutti mediante un unico schema. Un esempio contribuirà tuttavia a mettere in evidenza alcuni caratteri importanti di queste regole di corrispondenza.

La teoria dell'atomo di Bohr fu ideata per spiegare, tra l'altro, le leggi sperimentali sugli spettri di vari elementi chimici. Per sommi capi la teoria postula quanto segue. Essa assume che esistano gli atomi, e che ciascuno di essi sia composto di un nucleo relativamente pesante che trasporta una carica elettrica positiva, e di un certo numero di elettroni, caricati negativamente, dotati di massa minore, e in moto su orbite approssimativamente ellittiche, con il nucleo in uno dei fuochi. Il numero di elettroni che circola intorno al nucleo varia secondo l'elemento chimico. La teoria inoltre suppone che vi sia soltanto una serie discreta di orbite ammissibili per gli elettroni, e che i diametri di tali orbite siano proporzionali ad $h^2 n^2$, dove h è la costante di Planck (il valore del quanto indivisibile di energia postulato nella teoria della radiazione di Planck) e n è un numero intero. Inoltre, l'energia elettromagnetica di un elettrone in un'orbita dipende dal diametro dell'orbita. Tuttavia tale energia resta costante per tutto il tempo in cui un elettrone rimane in un'orbita, qualunque essa sia, e l'atomo non emette radiazioni. Viceversa, un elettrone può "saltare" da un'orbita avente un livello di energia più alto ad un'orbita avente un livello di energia più basso; quando ciò accade, l'atomo non emette una radiazione elettromagnetica, la cui lunghezza d'onda è funzione di queste differenze d'energia.

³ Cfr. HANS REICHENBACH, *Philosophie der Raum-Zeit Lehre*, Berlin, 1928, pp. 23 sgg., e *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley, Calif., 1951, c. 8, trad. it. a cura di A. Pasquinelli, Bologna, 1961; P. W. BRIDGMANN, *The Logic of Modern Physics*, New York, 1927, c. 1; trad. it. a cura di V. Somenzi, Torino, 1952, e *Reflections of a Physicist*, New York, 1950, c. 1; RUDOLF CARNAP, *Foundations of Logic and Mathematics*, *International Encyclopaedia of Unified Science*, vol. 1, n. 3, Chicago, 1955, c. 3; trad. it. a cura di G. Preti, Torino, 1956; HENRY MARGENAU, *The Nature of Physical Reality*, New York, 1950, pp. 60 sgg.; F. S. C. NORTHROP, *The Logic of the Sciences and the Humanities*, New York, 1947 c. 7.

La tesi di Eddington secondo cui la teoria generale della relatività di Einstein è un "sistema chiuso" che contiene se stesso, i cui concetti sono definiti ciclicamente l'uno in termini dell'altro, è viziosa dal fatto che in Eddington manca la distinzione tra teorie e leggi sperimentali, e dal suo riconoscimento, piuttosto disinvolto, della necessità di tali legami affinché una teoria abbia non soltanto un significato logico ma anche una importanza dal punto di vista dei contenuti sperimentali. Eddington riconosce tale necessità quando si riferisce alla "consapevolezza" (*consciousness*) come punto di contatto tra la teoria e il suo contenuto. Questo riferimento induce tuttavia in errore, in quanto non è a qualcosa di "interno alla consapevolezza" che le teorie sono collegate, bensì a caratteristiche sperimentalmente identificabili del loro contenuto. Vedi A. S. EDDINGTON, *The Domain of Natural Science*, in "Science, Religion and Reality" (a cura di Joseph Needham), London, 1925, pp. 203 sgg., e *The Nature of Physical World*, New York, 1928, c. 12; trad. it. a cura di C. de Bosis e L. Gialanella, Bari, 1935.

La teoria di Bohr è una fusione eclettica dell'ipotesi quantistica di Planck con idee prese a prestito dalla teoria dell'elettrodinamica classica, ed oggi è stata sostituita da una teoria più soddisfacente. Ciò nonostante, la teoria riusciva a spiegare varie leggi sperimentali di spettroscopia, e per un certo tempo fu una guida feconda alla scoperta di nuove leggi.

Ma come fu messa in relazione la teoria di Bohr con quanto può venire osservato in laboratorio? Evidentemente gli elettroni, il loro moto circolare su orbite, i loro salti da un'orbita all'altra, ecc., sono tutti concetti non applicabili ad alcunché di manifestamente osservabile. È quindi necessario introdurre dei collegamenti tra tali nozioni teoriche e quanto può venir identificato attraverso procedure di laboratorio. In via di fatto collegamenti di questo genere sono in certo modo stabiliti come segue. In base alla teoria elettromagnetica della luce, una riga dello spettro di un elemento è associata ad un'onda elettromagnetica la cui lunghezza d'onda può venir calcolata, secondo le ipotesi della teoria stessa, da dati sperimentali relativi alla posizione della riga spettrale. D'altra parte, la teoria di Bohr associa la lunghezza d'onda di un raggio luminoso emesso da un atomo a un salto di un elettrone da una delle sue orbite ammissibili ad un'altra. Di conseguenza la nozione *teorica* del salto di un elettrone è collegata alla nozione *sperimentale* di una riga spettrale. Una volta introdotte corrispondenze di questo genere, le leggi sperimentali relative alla serie di righe che compaiono nello spettro di un elemento si possono dedurre dalle assunzioni teoriche sui passaggi di un elettrone da una all'altra delle sue orbite ammissibili.

3. Questo esempio di regola di corrispondenza illustra anche cosa si intenda per interpretazione o modello di una teoria. La teoria di Bohr normalmente non viene presentata come un insieme astratto di postulati, con l'aggiunta di un numero appropriato di regole di corrispondenza per i termini non logici non interpretati e definiti implicitamente dai postulati. Solitamente viene spiegata, come nello schema sopra accennato, per mezzo di nozioni relativamente familiari, così che i suoi postulati, anziché essere schemi di enunciati, appaiono come enunciati il cui contenuto, almeno in parte, può esser immaginato visualizzandolo. Tra le altre ragioni, si ricorre ad una presentazione di questo genere perché è comprensibile con maggior facilità rispetto ad una esposizione puramente formale, che risulterebbe inevitabilmente più lunga e più complicata. In ogni caso, però, i postulati della teoria, in un'esposizione di questo tipo, sono inquadrati entro un modello o entro un'interpretazione.

Deve esser ben chiaro, tuttavia, che le ipotesi fondamentali di una teoria, anche se questa è stabilita facendo ricorso ad un modello, forniscono solo definizioni implicite delle nozioni teoriche che in essa compaiono. Per esempio, un elettrone, secondo la teoria di Bohr, è appunto quella specie di "entità", che, malgrado sia carica elettricamente

e sia in moto, non produce effetti elettromagnetici fintantoché rimane in un'orbita, qualunque essa sia. Inoltre, il fatto che una teoria sia presentata mediante un modello non rende meno imperiosa la necessità di regole di corrispondenza che connettano la teoria stessa a concetti sperimentali. Benché i modelli delle teorie abbiano funzioni importanti nell'indagine scientifica, come verrà mostrato nel capitolo che segue, essi non sostituiscono le regole di corrispondenza. La distinzione tra un modello (o interpretazione) di una teoria e le regole di corrispondenza per i suoi termini è cruciale, e richiede quindi un'ulteriore disamina.

Per fissare le idee, procuriamoci un modello per i postulati astratti enunciati più sopra per le classi K e F . Si supponga che vi siano esattamente dieci molecole entro un gene G di un dato organismo biologico, e che la loro massa totale sia di m grammi; ed il rapporto tra la massa di una molecola (o dell'insieme di molecole) ed m venga chiamato 'massa relativa' (o più brevemente ' r ') della molecola (o di un insieme di molecole). Nei postulati sostituiamo alla lettera variabile K l'espressione 'le molecole nel gene G ', espressione per la quale adotteremo come abbreviazione la lettera G ; al posto della lettera F , poniamo l'espressione 'l'insieme di tutte le sottoclassi delle molecole nel gene G ', abbreviata mediante S . Comprendendo la classe nulla (o vuota), S contiene evidentemente 1024 elementi. Infine, all'espressione $p(A)$ dei postulati astratti, sostituiamo la frase 'la massa relativa di A ' [o, in forma abbreviata, ' $r(A)$ ']. Con tali sostituzioni l'insieme astratto di postulati è trasformato nell'insieme di effettivi enunciato su G , S e r . Per esempio, l'ultimo postulato viene a leggersi così: se A e B appartengono ad S e $A \cdot B = \Lambda$, allora $r(A \vee B) = r(a) + r(b)$, cioè per due insiemi di molecole A e B di S , che non abbiano molecole in comune, la massa relativa delle molecole contenute in A o in B è uguale alla massa relativa delle molecole di A più la massa relativa delle molecole di B . Tali enunciati (oppure il sistema delle "cose" G , S e r , piuttosto che gli enunciati) costituiscono ciò che intenderemo come un "modello" dei postulati.

Questa spiegazione di cosa si intenda per modello può venir facilmente generalizzata.⁴ L'esempio in se stesso comunque è sufficiente per mettere in luce alcuni punti utili. In base all'ipotesi che ogni espressione impiegata nella formulazione di un modello sia in qualche senso "dotata di significato", una teoria fornita di un modello è completa-

⁴ La formulazione generale è, schematicamente, la seguente: Sia P un insieme di postulati; sia P^* un insieme di enunciati ottenuti sostituendo ad ogni variabile predicativa di P un predicato che sia significante per una data classe di elementi K ; e, infine, P^* sia formato soltanto da effettivi enunciati su elementi di K . Intendiamo con modello di P , gli enunciati P^* , oppure il sistema di elementi K caratterizzato dalle proprietà e dalle relazioni che sono designate dai predicati di P^* . Per una esauriente precisazione delle nozioni di 'interpretazione' e di 'modello', si veda RUDOLF CARNAP, *Introduction to Semantics*, Cambridge, Mass., 1942, pp. 202 e segg.; PATRICK SUPPES, *Introduction to Logic*, Princeton, 1957, pp. 64 e segg.; ALFRED TARSKI, *Logic, Semantics, Metamathematics*, Oxford, 1956, c. 12.

mente interpretata — nel senso che ogni sua frase è, di conseguenza, un enunciato dotato di significato. Benché un modello possa essere di inestimabile valore nel suggerire nuove direzioni di indagine, che potrebbero non venirci mai in mente se la teoria venisse presentata in una forma completamente astratta, tuttavia si corre il rischio, con la presentazione di una teoria in termini di un modello, che caratteri contingenti del modello ci fuorviino rispetto all'effettivo contenuto della teoria stessa. Una teoria infatti può ricevere da modelli diversi diverse interpretazioni; ed i modelli possono differire non soltanto per i particolari oggetti da cui sono ricavati, ma anche per importanti proprietà strutturali. (Per esempio, si ottiene per i postulati di cui sopra un modello strutturalmente diverso, se si suppone che il gene *G* contenga 100 anziché 10 molecole. Per gli stessi postulati, si ha un modello ancora diverso mediante le relazioni di probabilità tra classi di eventi.) Infine, e questo è il punto centrale che ci interessa nel contesto di cui ci stiamo occupando, dal fatto che una teoria sia presentata in termini di modello non consegue assolutamente che essa sia connessa automaticamente a concetti sperimentali e a procedure osservative. Una connessione di tal sorta dipende dal carattere del modello impiegato. Così, l'enunciato testé riferito del modello molecolare per un insieme di postulati non fornisce alcuna regola per coordinare le sue espressioni non logiche (come l'espressione 'la massa relativa di un insieme di molecole del gene *G*') con nozioni sperimentali significanti. Nonostante sia stato dato un modello per i postulati, non sono date regole di corrispondenza. In breve, quindi, stabilire un modello di una teoria, tale che tutti i suoi termini descrittivi ne ricevano un'interpretazione, non è in generale sufficiente per dedurre dalla teoria leggi sperimentali.

III. Regole di corrispondenza

Dobbiamo ora richiamare l'attenzione su alcuni tratti caratteristici delle regole di corrispondenza che fino ad ora non sono stati menzionati esplicitamente.

1. Un buon punto di partenza per notare uno di tali tratti è dato dalla teoria dell'atomo di Bohr. Come risulta evidente, la regola citata in quell'esempio non fornisce una definizione *esplicita* di alcuna delle nozioni teoriche della teoria di Bohr, in termini dei predicati usati per caratterizzare materie considerate normalmente come osservabili. L'esempio suggerisce quindi che in generale le regole di corrispondenza non forniscono definizioni di tal sorta.

Rendiamo più chiaro cosa sia contenuto in tale suggerimento. Quando si dice che un'espressione è "definita esplicitamente", essa può venir sempre eliminata da qualsiasi contesto in cui compaia, in quanto può

venir sostituita dall'espressione che costituisce la definizione, senza che il senso del contesto ne sia alterato. Così l'espressione ' x è un triangolo' è definita esplicitamente dall'espressione ' x è una figura piana chiusa limitata da tre segmenti di retta'. La prima espressione (o espressione definita) può quindi venir eliminata da ogni contesto in favore della seconda espressione (o espressione definiente); per esempio l'enunciato 'l'area di un triangolo è uguale a metà del prodotto della sua base per la sua altezza' può venir sostituito dall'enunciato logicamente equivalente 'l'area di una figura piana chiusa limitata da tre segmenti di retta è uguale alla metà del prodotto della sua base per la sua altezza'. Invece l'espressione teorica della teoria di Bohr ' x è la lunghezza d'onda della radiazione emessa quando un elettrone salta alla più piccola orbita ammissibile dalla sua orbita contigua nell'atomo di idrogeno' non viene definita esplicitamente quando la coordiniamo con un'espressione avente approssimativamente la forma ' y è la riga che compare in una certa posizione dello spettro dell'idrogeno'. È evidente, infatti, che le due espressioni hanno contenuti del tutto diversi. Quindi, anche se la regola di corrispondenza stabilisce un nesso determinato tra le due espressioni, la prima non può venir sostituita dall'ultima in enunciati del tipo 'le transizioni di elettroni alle loro orbite ammissibili più piccole da quelle contigue si verificano circa nel 10% degli atomi di idrogeno'. Se si tentasse di effettuare la sostituzione indicata, si avrebbe come risultato un non senso.

Non esiste, né forse è possibile, una prova inoppugnabilmente conclusiva del fatto che le nozioni teoriche impiegate dalla scienza attuale non possano venir esplicitamente definite in termini di idee sperimentali. Discuteremo più a fondo nel prossimo capitolo l'argomento ora accennato. È tuttavia pertinente l'osservazione che finora nessuno ha costruito con successo definizioni di tal genere. Vi sono inoltre buone ragioni per ritenere che le regole di corrispondenza, nel loro uso effettivo, non costituiscano definizioni esplicite delle nozioni teoriche in termini di concetti sperimentali.

Si è già notata una di queste ragioni. Quando si formula una teoria mediante un modello, il linguaggio che si usa per enunciare il modello ha generalmente contenuti non posseduti dal linguaggio della procedura sperimentale. Così, come già si è detto, l'espressione relativa alle transizioni degli elettroni nella teoria di Bohr non è equivalente come significato all'espressione che si riferisce alle righe spettrali. In casi simili, quindi, dato che, nelle definizioni esplicative vi è equivalenza di significato tra l'espressione definita e quella che definisce, è piuttosto improbabile che le regole di corrispondenza provvedano simili definizioni.⁵

⁵ Se non si osserva che il linguaggio della fisica teorica non ha un significato equivalente a quello in cui vengono formulate le procedure sperimentali, si va incontro alle

Un'altra ragione, avente forse un peso anche maggiore, è quella che le nozioni teoriche sono spesso coordinate da regole di corrispondenza a più di un concetto sperimentale. Come già si è detto, le nozioni teoriche sono definite solo implicitamente dai postulati della teoria (anche quando la teoria è presentata mediante un modello). Perciò il numero di concetti sperimentali a cui, come possibilità logica, si può far corrispondere una nozione teorica, è illimitato. Per esempio, la nozione teorica del salto degli elettroni nella teoria di Bohr corrisponde alla nozione empirica di riga spettrale; ma tale nozione teorica può anche venir coordinata (attraverso la legge dell'irraggiamento di Planck,⁶ deducibile dalla teoria di Bohr) alle variazioni di temperatura dell'irraggiamento di un corpo nero, che sono sperimentalmente determinabili. In quei casi quindi in cui si fa corrispondere una data nozione teorica a due o più idee sperimentali (benché, presumibilmente, in occasioni diverse e nel contesto di problemi diversi), sarebbe assurdo sostenere che il concetto teorico è definito esplicitamente di volta in volta da ciascuno dei due concetti sperimentali.

Questa mancanza di unicità di corrispondenza tra nozioni teoriche e sperimentali merita ulteriormente commento e illustrazione. È un fatto noto che le teorie scientifiche (e in modo speciale, quantunque non esclusivo, quelle della fisica matematica) sono generalmente formulate con diligente accuratezza, e che le relazioni reciproche delle nozioni teoriche (siano esse in quel sistema primitive oppure definite in termini delle primitive) sono enunciate con grande precisione. Tale accuratezza e precisione sono essenziali se si deve esplorare con rigore le conseguenze deduttive delle assunzioni teoriche. Invece, le regole di corrispondenza che

confusioni più imbarazzanti. Fu proprio perché non osservò questo punto che Eddington poté sollevare la questione di quale dei due tavoli che stavano di fronte a lui mentre egli sedeva a scrivere il suo libro fosse quello "reale" — il solito tavolo dell'esperienza di ogni giorno, fatto di sostanza, oppure il tavolo scientifico che è per la maggior parte vuoto e che consiste di cariche elettriche distribuite ad intervalli e moventesi a forti velocità (A. S. EDDINGTON, *The Nature of the Physical World*, pp. IX e sgg.; trad. it. cit.). In effetti, però, Eddington non si trovava per niente di fronte a due tavoli. Infatti, la parola "tavolo" esprime un'idea sperimentale che non si presenta nel linguaggio della teoria elettronica; e la parola "elettrone" esprime una nozione teorica che non è definita nel linguaggio impiegato per formulare osservazioni e esperimenti. Questi due linguaggi, anche se sono suscettibili di coordinamenti in certi punti, non sono traducibili l'uno nell'altro. Così, dato che c'è un solo tavolo, non c'è questione su quale sia quello "reale", qualsiasi cosa si intenda con tale onorifica etichetta. Per una critica ampia ed energica alla filosofia della scienza di Eddington, si legga L. SUSAN STEBBING, *Philosophy and the Physicists*, London, 1937.

⁶ La legge dell'irraggiamento, formulata nei termini teorici della fisica matematica, stabilisce che

$$E_{\lambda} = \frac{bc^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{hc/kT} - 1} \right)$$

dove E_{λ} è l'energia della radiazione di lunghezza d'onda λ , b è la costante di Planck, c è la velocità della luce, T la temperatura assoluta, k la costante di Boltzmann (cioè la costante di proporzionalità nell'equazione della teoria cinetica dei gas che mette in rapporto la temperatura assoluta di un gas con l'energia cinetica media delle sue molecole).

collegano le idee teoriche con quelle sperimentali non sono, in genere, formulate esplicitamente; così che in pratica i coordinamenti sono, in confronto, approssimativi ed imprecisi.

Con qualche esempio si chiarirà lo scopo di queste osservazioni generali. Nelle assiomaticizzazioni moderne della geometria (come in quella del matematico tedesco David Hilbert) un certo numero di termini primitivi (per esempio 'punto', 'retta', 'piano', 'congruenza') è definito implicitamente mediante i postulati del sistema; i termini ulteriori (come 'cerchio', 'cubo') sono definiti esplicitamente facendo ricorso a quelli primitivi. Entro la geometria assiomatica quindi esistono relazioni enunciate con precisione tra le nozioni teoriche del sistema. Ma quando si passa ad usare il calcolo geometrico in qualche regione dell'indagine empirica, il coordinamento di queste nozioni con le idee sperimentali è in genere tutt'altro che esatto. Per esempio, la parola 'piano', come viene usata nei contesti dell'indagine empirica, non è un termine definito con precisione. Viene specificato quali superficie debbano venir considerate come piano: qualche volta per mezzo di regole per piattare i corpi, in modo che le loro superficie finiscano per aderire perfettamente quando siano poste una adiacente all'altra; altre volte per mezzo di regole che implicano semplicemente giudizi percettivi basati sull'uso dell'occhio nudo; ed infine in altri casi per mezzo di regole che richiedono l'uso di complicati strumenti ottici. In tal modo la corrispondenza tra la nozione teorica di piano e quella sperimentale non è né univoca né precisa. Analogamente, benché la distanza teorica tra due punti sia sempre un numero unico (che può essere di fatto un cosiddetto numero "irrazionale"), la distanza effettivamente misurata tra due corpi è quasi sempre una gamma di grandezze che cadono entro un certo intervallo.

In tale ordine di idee, consideriamo nuovamente, ma più da vicino, la corrispondenza tra la nozione di lunghezza d'onda nella teoria elettromagnetica della luce e la nozione sperimentale di riga spettrale. Anche da un esame affrettato risulta che la corrispondenza non è univoca. Infatti le righe spettrali hanno tutte ampiezza finita, ed il potere risolvibile degli strumenti ottici è limitato. Di conseguenza, ciò che sperimentalmente viene identificato come riga spettrale corrisponde non già ad un'unica lunghezza d'onda, ma ad una gamma di lunghezze d'onda vagamente delimitata. Reciprocamente un fascio di luce teoricamente monocromatico (cioè un fascio di radiazioni composto di raggi aventi la stessa lunghezza d'onda) è coordinato in pratica con righe spettrali sperimentalmente determinabili che hanno un'ampiezza distinguibile e che perciò sono prodotte, dal punto di vista teorico, da radiazioni policromatiche.

Il punto generale che emerge da questi esempi è quello che, sebbene i concetti teorici possano esser articolati con un alto grado di precisione, le regole di corrispondenza li coordinano con idee sperimentali

assai meno definite. La nebulosità che circonda tali regole di corrispondenza è inevitabile, poiché le idee sperimentali non hanno la nitidezza di contorni posseduta dalle nozioni teoriche. E questa è una ragione fondamentale dell'impossibilità di formalizzare con buona precisione le regole (o gli usi) che stabiliscono una corrispondenza tra idee teoriche e sperimentali.

Se domandiamo quindi quale schema formale mostrino le regole di corrispondenza, è difficile rispondere direttamente. In alcuni casi, le regole sembrano enunciare condizioni necessarie e sufficienti per descrivere una situazione sperimentale in linguaggio teorico. Così, se T è un predicato teorico ed S uno sperimentale, le regole possono avere la forma ' x è T se e solo se y è S '. Questo sembra essere un modo plausibile di descrivere la regola che coordina la nozione teorica del salto di un elettrone e il presentarsi di una riga spettrale. In altri casi, la regola può enunciare solo una condizione sufficiente per l'uso di una nozione teorica. La regola in tal caso ha la forma schematica 'se y è S , allora x è T '. Tale sembra essere la forma della regola implicita nell'applicazione della nozione teorica di 'piano' ad una superficie effettiva che si conformi alle specificazioni sperimentali su che cosa debba essere un piano. In altri casi ancora, la regola può fornire solo la condizione necessaria per l'uso di un termine teorico: 'se x è T , allora y è S '. Per esempio, nelle condizioni sperimentali della camera di Wilson, la condensazione del vapor acqueo in linee sottili appare come la condizione necessaria per descrivere questo effetto in termini della nozione teorica del passaggio di particelle alfa.

Le regole di corrispondenza possono avere ancora altre forme. Si può aver dato loro una formulazione metalinguistica, che coordini tra loro esplicitamente delle *espressioni* piuttosto che quanto è *designato* dalle espressioni (come nella discussione che precede); e può anche darsi che abbiano forme più complesse di quelle citate. Per esempio, una regola può dire che da un enunciato della forma ' x è T ' si possa dedurre un enunciato della forma ' y è S ', ed inversamente; oppure una regola può coordinare non soltanto una ma più nozioni teoriche simultaneamente con un insieme di idee sperimentali: un tipo di regola questa che appare implicata quando si stabilisce il modo in cui si devono usare in contesti sperimentali concreti i termini geometrici 'punto', 'retta', 'piano', ecc.

Per il nostro scopo non vi sarebbe alcuna utilità nel dilungarsi oltre su questo argomento. Si è detto tuttavia abbastanza per poter sostenere la tesi che le regole di corrispondenza non forniscono definizioni esplicite delle nozioni teoriche in termini di idee sperimentali, come pure per suggerire che tali regole sono proteiformi. Ma se tale tesi è davvero fondata, essa contribuisce a render più forte la distinzione tra leggi sperimentali e teorie, e nello stesso tempo solleva problemi rela-

tivi allo *status* conoscitivo delle teorie. Nel prossimo capitolo indagheremo su qualcuno di questi problemi.

2. È opportuno qui aggiungere un'osservazione sul modo in cui le regole di corrispondenza servono da legami tra idee teoriche ed idee sperimentali. La sommaria descrizione della teoria dell'atomo di Bohr, data più sopra, ci farà nuovamente da spunto introduttivo della questione. Secondo quella descrizione, benché esistano regole di corrispondenza per alcune delle nozioni impiegate dalla teoria, non tutte le nozioni teoriche sono collegate a idee sperimentali. Per esempio, c'è una regola di corrispondenza per la nozione teorica degli elettroni che passano da un'orbita ammissibile ad un'altra; ma non c'è una regola di questo genere per la nozione di elettroni che si muovono con velocità accelerate su un'orbita. Analogamente, nella teoria cinetica dei gas, non c'è una regola di corrispondenza per la nozione teorica della velocità istantanea delle singole molecole, benché una regola siffatta ci sia per la nozione, teoricamente definita, dell'energia cinetica media delle molecole. Inoltre, vi è attualmente una regola di corrispondenza per la nozione del numero di molecole in un volume standard di gas in condizioni standard di temperatura e di pressione (numero di Avogadro); ma il numero di Avogadro non fu determinato per via sperimentale fino ad un'epoca relativamente recente nella storia della teoria cinetica, e fino ad allora non c'era una regola di corrispondenza per tale nozione teorica.

La caratteristica notata nelle teorie citate ad esempio può venir espressa in modo più generale, benché schematico, come segue. Si supponga che i postulati di una teoria T impieghino n termini primitivi non logici ' P_1 ', ' P_2 ', . . . , ' P_n ', per mezzo dei quali si possa definire esplicitamente un dato numero di altri termini teorici ' Q_1 ', ' Q_2 ', . . . , ' Q_r '. (Per illustrare questa formulazione generale, si supponga che i termini primitivi della teoria siano 'lunghezza', 'massa' e 'tempo', e che la 'velocità' e 'l'energia cinetica' possano venir definite esplicitamente in base a questi primitivi.) Tuttavia, sebbene sia necessario che si aggiungano delle regole di corrispondenza ai postulati perché T possa venir applicato scientificamente, simili regole non vengono introdotte per tutti i P o per tutti i Q . È anche possibile che vi siano regole di corrispondenza per alcuni Q solamente, ma per nessuno dei P . Le nozioni teoriche di T non son dunque tutte collegate una volta per sempre ai concetti sperimentali.

La maggior parte delle teorie delle scienze naturali — o addirittura tutte — hanno questa caratteristica. In ogni modo, una teoria che la abbia possiede una flessibilità che ne permette l'estensione a zone nuove di ricerca, talvolta decisamente diverse dall'argomento per il quale in origine la teoria era stata ideata. Come già si è notato, la spiegazione sistematica di una gran varietà di leggi sperimentali riguardanti materie

qualitativamente diverse è una meta distintiva di tali teorie. Una delle vie per raggiungerla è quella che la teoria introduca nuove regole di corrispondenza per nozioni per cui non ne erano state ancora istituite, quando ciò sia reso possibile dal progresso nella ricerca sperimentale e nella tecnica. Al contrario di quanto accade per le alterazioni dei postulati di una teoria, che in effetti costituiscono una modificazione delle definizioni implicite delle nozioni teoriche, l'introduzione di nuove regole di corrispondenza non cambia né la struttura formale né il significato della teoria, benché nuove regole possano allargare il suo campo di applicazione. Così, la determinazione sperimentale del numero di Avogadro (che ebbe per conseguenza il collegamento di questa nozione teorica con un concetto sperimentale) non implicò alcuna modificazione dei postulati della teoria cinetica dei gas; ma portò al risultato di mettere in relazione con la teoria l'indagine sperimentale della struttura cristallina per mezzo dei raggi X.

È importante inoltre ricordare che una teoria è un prodotto umano. Come gli altri prodotti umani, essa presumibilmente contiene elementi i quali altro non sono che espressioni degli scopi particolari e delle idiosincrasie dei suoi umani inventori, piuttosto che simboli aventi anzitutto una funzione di riferimento o rappresentativa. Su tale punto insisté Heinrich Hertz nella sua rassegna dei requisiti che dovrebbero essere soddisfatti dalle teorie fisiche. Hertz sostenne che l'unico compito della fisica è quello di costruire "immagini o simboli di oggetti esterni" in modo tale che le conseguenze logiche dei simboli (cioè della nostra concezione delle cose) siano sempre le "immagini" dei "conseguenti necessari in natura delle cose rappresentate". Hertz in tal modo rese centrale il ruolo della teoria come strumento che ci permette di inferire eventi osservabili da altri eventi osservabili. Egli tuttavia riconobbe chiaramente che questo requisito strumentale non determina in modo unico il simbolismo (o la teoria) che sia in grado di raggiungere quell'obbiettivo. In particolare, egli osservò che una teoria inevitabilmente conterrà ciò che egli chiamò "relazioni superflue, o vuote" — simboli che non rappresentano niente dell'argomento di cui la teoria si occupa. Secondo Hertz, tali "relazioni vuote" entrano nelle nostre teorie semplicemente perché queste sono simbolismi complicati, "immagini prodotte dalle nostre menti e necessariamente affette dalle caratteristiche delle loro modalità di rappresentazione".⁷

Considerazioni di natura generale ci conducono così ad aspettarci che non tutte le idee che costituiscono una teoria siano collegate con idee sperimentali da regole di corrispondenza. In ogni caso il compito principale di molti simboli presenti nelle teorie è quello di facilitare la formulazione di una teoria dotata di grande generalità, di rendere possi-

⁷ HEINRICH HERTZ, *The Principles of Mechanics*, London, 1899 (ristampa New York, 1956), p. 2.

bili e relativamente semplici le trasformazioni logiche e matematiche, oppure di costituire uno strumento euristico per l'estensione delle applicazioni della teoria. Esempi di simboli che assolvono un compito siffatto sono le variabili continue e i quozienti differenziali della fisica matematica; le une e gli altri sono ampiamente usati, sebbene le nozioni teoriche del tipo delle funzioni di densità matematicamente continue o delle velocità istantanee, strettamente intese, non corrispondano ad alcun concetto sperimentale. Si possono trovare quanti si vogliano altri esempi di simboli di questo genere nelle locuzioni che sono usate quando una teoria è inserita in un modello conveniente — per esempio nella terminologia dei punti-massa nella meccanica analitica, o in quella dell'etere nella teoria elettromagnetica del XIX secolo, in quella dei legami di valenza nella chimica analitica, o in quella delle "onde-particelle" della attuale teoria quantistica.

Poiché le teorie sono costruite con l'intento di spiegare una grande varietà di leggi sperimentali, è chiaro che in generale si può raggiungere tale fine solo se una teoria è formulata in modo da non contenere alcun riferimento ad un insieme di concetti sperimentali specializzati. Altrimenti la sua applicazione verrebbe limitata a quelle situazioni per cui proprio quei concetti sono di rilievo. In effetti, più esteso è il campo delle applicazioni possibili di una teoria, più ristretto è il suo contenuto esplicitamente formulato rispetto ai particolari di un argomento specifico. Si lascia che a tali particolari provvedano ulteriori assunzioni e regole di corrispondenza, introdotte secondo le varie esigenze quando si usa la teoria in contesti sperimentali differenti.⁸ Ciò non significa però che le teorie scientifiche tendano a diventare, al limite, vuote di contenuto via via che il loro campo di applicazione diventa più esteso. Significa piuttosto che una teoria tende a formulare una struttura di relazioni che abbia grande generalità, invariante in un'ampia varietà di situazioni sperimentalmente differenti, ma suscettibile di specializzazione mediante l'aggiunta ai suoi postulati fondamentali di ipotesi più restrittive, in modo che se ne ricavi sistematicamente una serie di strutture subordinate differenziate.

Due esempi, anche se non del tutto tipici delle teorie scientifiche, illustreranno questo punto, rendendo più chiara l'architettura di almeno alcune teorie. Il primo è preso dalla geometria analitica. Ivi si dimostra che la biquadratica $ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2ey + f = 0$ è l'equazione di una sezione conica, dove x ed y sono le coordinate (ovvero le distanze minime da due rette fisse, perpendicolari tra loro, prese come sistema di riferimento) di ogni punto della conica, e i coefficienti (o "costanti arbitrarie") hanno valori fissi senza essere ulteriormente

⁸ Cfr. W. F. G. SWANN, *The Significance of Scientific Theories*, "Philosophy of Science", vol. 7 (1940), pp. 273-87, e *The Relation of Theory to Experiment in Physics*, "Reviews of Modern Physics", vol. 13 (1941), pp. 190-196; anche L. SILBERSTEIN, *The Theory of Relativity*, London, 1924, pp. 296 e segg.

specificati (eccetto che dalla condizione che non siano tutti uguali a zero). Da questa equazione si possono dedurre tutte le proprietà comuni a tutte le coniche — per esempio, che una retta incontra la conica al massimo in due punti, o che due coniche hanno al massimo quattro punti in comune. La struttura comune a tutte le coniche può però venir differenziata in strutture più specializzate con l'imporre condizioni aggiuntive ai coefficienti dell'equazione. Così, nell'ipotesi che a , b e c non siano tutti uguali a zero, e con la stipulazione che $b^2 - ac < 0$, l'equazione formula le proprietà strutturali dell'ellisse, e, se $b = 0$ e $a = c$, del cerchio come caso speciale dell'ellisse. Con la condizione che $b^2 - ac = 0$, l'equazione rappresenta una parabola. Con la condizione che $b^2 - ac > 0$, l'equazione rappresenta un'iperbole. Infine, se $(b^2 - ac)f + (ae^2 + cd^2 - 2bde) = 0$, l'equazione rappresenta la "conica degenerata", consistente in una coppia di rette. Specializzando dunque le costanti arbitrarie, si ottengono strutture particolari diverse, delle quali si possono indagare le caratteristiche distintive.

Il secondo esempio è preso dalla teoria newtoniana della meccanica. Secondo tale teoria, una variazione del momento di un corpo (riferito ad un adeguato sistema spaziale di riferimento) è uguale alla forza che agisce sul corpo. Ciò può venir scritto nella forma $ma = F$, dove ' m ' è la massa del corpo, ' a ' la sua accelerazione in un dato istante, ed ' F ' è la forza. Un buon numero di conseguenze molto generali sui moti dei corpi può venir derivato formalmente da questo postulato fondamentale, anche se non è specificata la natura della forza che può agire sul corpo. Tuttavia, dall'equazione non si può inferire nulla sull'effettivo moto di un corpo, a meno che non si introducano, tra l'altro, ulteriori ipotesi sulla forza che si suppone agire — ipotesi che in certi casi includono in ogni modo una regola di corrispondenza tra la nozione teorica di forza e certe idee sperimentali. I postulati fondamentali della teoria di Newton pongono pochissime restrizioni formali al genere di funzioni matematiche che si possono usare per esprimere il carattere delle forze. In pratica però le funzioni sono di un genere relativamente semplice. Per esempio, nello studio dei moti vibratori, la forma generale della funzione-forza è: $F = Ar + Br^2 + Cr^3 + Dv + Ef(t)$, dove ' r ' è la distanza del corpo da qualche punto specificato, ' v ' è la velocità del corpo lungo la retta in tal modo determinata, ' $f(t)$ ' è una funzione del tempo t , e ' A ', ' B ', ' C ', ' D ' ed ' E ' sono costanti arbitrarie per cui si assegnano valori numerici diversi a seconda del problema considerato. Così, se A è negativo e le altre costanti sono uguali a zero, il corpo è soggetto a un moto armonico semplice senza resistenze di attrito; se A e D sono entrambi negativi e le altre costanti sono uguali a zero, il corpo è sottoposto a moto armonico smorzato; se A e D sono entrambi negativi, E non è uguale a zero, B e C sono entrambi uguali a zero, e $f(t)$ è una funzione periodica del tempo, il corpo è sottoposto a vibrazione forzata; e così via. In generale, dando ad F in vari modi

valori particolari, si possono dedurre leggi sperimentali diverse dalle equazioni fondamentali della meccanica newtoniana.

Benché questi esempi non siano rappresentativi di tutte le teorie — in quanto non tutte le teorie contengono parametri che siano specializzati nel modo ora indicato — essi illustrano un aspetto importante della differenza tra teorie e leggi sperimentali, nonché una tecnica per mezzo della quale le teorie raggiungono una estesa generalità. Infatti, a differenza dei termini che compaiono nelle leggi sperimentali, le nozioni teoriche impiegate nelle ipotesi fondamentali di una teoria possono o non essere associate ad alcuna idea sperimentale, oppure essere associate ad idee sperimentali che variano da un contesto all'altro. La possibilità di estendere una teoria a nuovi argomenti dipende in misura considerevole da questo tratto caratteristico delle teorie. Gli esempi portati contribuiscono anche a dar forza alla tesi che una teoria rimane inutile dal punto di vista dell'indagine scientifica finché non sia legata da qualche regola di corrispondenza a proprietà sperimentalmente identificabili di un particolare argomento.