CAPITOLO

13

Scienza e conoscenza: dalla crisi dei fondamenti a Kuhn

«Nella misura in cui le proposizioni della matematica si riferiscono alla realtà, non sono certe; e nella misura in cui sono certe, non si riferiscono alla realtà».
— Albert Einstein, Geometria ed esperienza, 1921 (traduzione della redazione)

OBIETTIVI

1. Spiegare che cosa sono le geometrie non euclidee e il metodo assiomatico, e perché mettono in discussione la tesi kantiana sulla geometria
2. Esporre la critica di Mach allo spazio assoluto e il convenzionalismo di Poincaré, e riconoscere le questioni filosofiche poste dalla relatività, dai quanti e dai teoremi di Gödel
3. Ricostruire il principio di verificazione del Circolo di Vienna, la critica della metafisica e il dibattito sugli enunciati protocollari
4. Illustrare il criterio di falsificabilità di Popper e distinguerlo da un criterio di significato
5. Descrivere il modello di Kuhn (paradigma, scienza normale, crisi, rivoluzione) e le proposte di Lakatos e Feyerabend
6. Confrontare le diverse immagini della scienza e valutarle su casi storici

INDICE DEL CAPITOLO

13.1 Le scienze tra Otto e Novecento: la crisi delle certezze 3
13.2 La fisica del Novecento e i limiti dei sistemi formali 8
13.3 Il Circolo di Vienna 10
13.4 Popper: la falsificabilità 13
13.5 Kuhn e dopo: la storia della scienza 18
13.6 Leggere i testi 23

Filosofia 5 · Parte IV · Il Novecento: linguaggio, scienza, società · versione 1.0
Capitolo 13: Scienza e conoscenza: dalla crisi dei fondamenti a Kuhn · pagine 405–438 del volume completo · estratto per lo studio

Due rette parallele non si incontrano mai; la somma degli angoli di un triangolo è di 180°; il tempo scorre uguale per tutti. Per più di duemila anni queste affermazioni sono sembrate il modello della certezza: Kant, come hai visto in *Filosofia 4* (capitolo 12), aveva fondato proprio sulla geometria di Euclide e sulla fisica di Newton la sua risposta alla domanda «come è possibile una conoscenza universale e necessaria?». Tra Otto e Novecento, invece, i matematici costruirono geometrie coerenti in cui le parallele non esistono, oppure sono infinite, e i fisici scoprirono che la simultaneità di due eventi dipende da chi li osserva. Se perfino le scienze esatte rivedono i loro principi, che cosa distingue la scienza dagli altri discorsi? E la scienza procede davvero accumulando verità? In questo capitolo segui le risposte del Novecento: il **Circolo di Vienna**, per cui ha senso solo ciò che si può verificare; **Karl Popper**, per cui è scientifico ciò che si può smentire; **Thomas Kuhn**, che nella storia della scienza trovò lunghi periodi di stabilità interrotti da rivoluzioni; infine Lakatos e Feyerabend.

Contesto

La riflessione sulla scienza che studi in questo capitolo nasce soprattutto in area tedesca, tra Vienna, Praga e Berlino, negli anni che vanno dalla fine dell'Ottocento alla vigilia della seconda guerra mondiale (Figura 13.1). Vienna, capitale dell'Impero austro-ungarico fino al 1918 e poi di una piccola repubblica impoverita, era la città di Freud, di Wittgenstein e di una grande scuola di fisica: qui Ernst Mach insegnò storia e teoria delle scienze induttive e qui, negli anni Venti, Moritz Schlick riunì il gruppo che prese il nome di Circolo di Vienna. Il nazismo disperse quella cultura: dopo il 1933 in Germania e dopo l'annessione dell'Austria (marzo 1938) molti studiosi, spesso ebrei o di sinistra, emigrarono in Inghilterra e negli Stati Uniti. Così il dibattito proseguì in lingua inglese: Popper scrisse le sue opere maggiori in Nuova Zelanda e a Londra, Kuhn insegnò a Berkeley, Princeton e al MIT. Il capitolo si apre però con le scienze stesse, perché furono le loro trasformazioni a porre ai filosofi domande nuove.

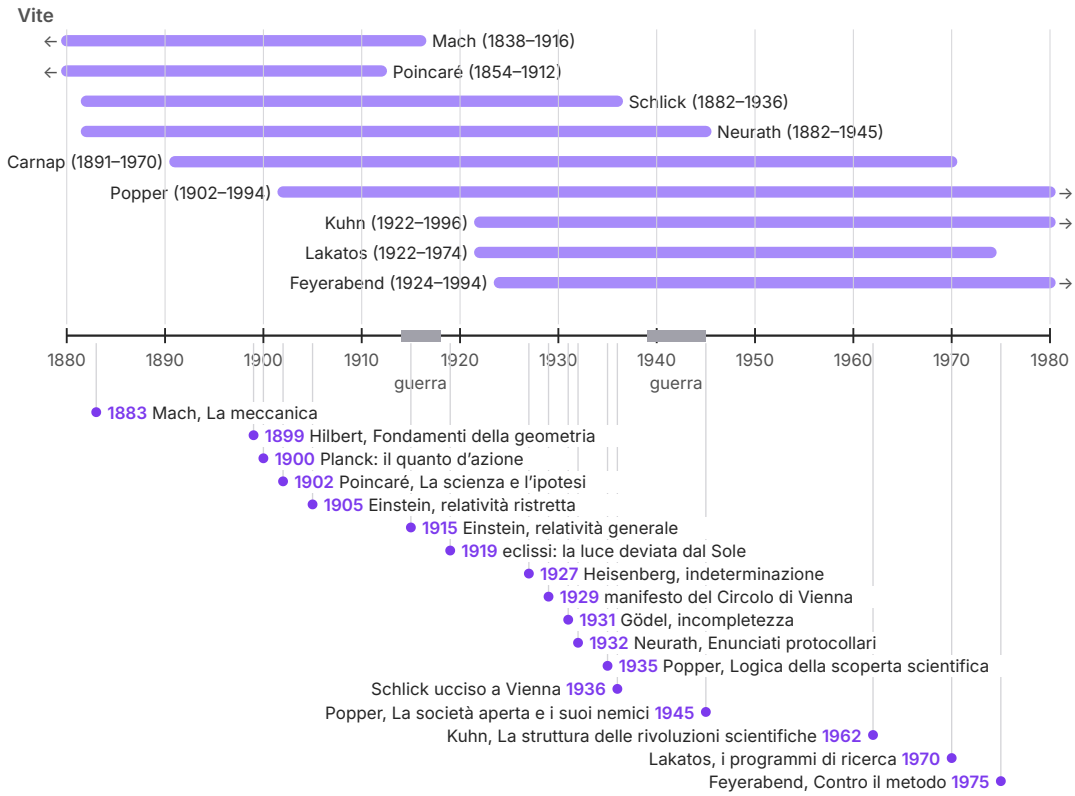


Figura 13.1 Le vite dei protagonisti e le tappe principali della riflessione sulla scienza dal 1883 al 1975, su una scala del tempo proporzionale. Le frecce indicano una vita che comincia prima del 1880 o finisce dopo il 1980; le fasce grigie sull'asse sono le due guerre mondiali. La *Logica della scoperta scientifica* di Popper uscì alla fine del 1934 con la data 1935.

13.1 Le scienze tra Otto e Novecento: la crisi delle certezze

13.1.1 Il problema: che cosa rende certa una scienza?

Per Kant la geometria euclidea era fatta di *giudizi sintetici a priori*: giudizi che estendono la conoscenza, come quelli dell'esperienza, ma sono universali e necessari, perché poggiano sulla forma pura dello spazio che la nostra sensibilità impone a ogni oggetto. Nessuna esperienza poteva smentire Euclide, dato che ogni esperienza era già, per così dire, euclidea. Tra il 1830 e il 1930, però, tre sviluppi scossero quella fiducia: la nascita delle geometrie non euclidee, la critica dei concetti fondamentali della meccanica, le due grandi teorie della fisica del Novecento, cioè la relatività e i quanti. Nessuno di essi rese la scienza meno affidabile; tutti costrinsero a chiedersi *in che senso* essa sia vera.

13.1.2 Il quinto postulato e le geometrie non euclidee

Gli *Elementi* di Euclide (c. 300 a.C.) partono da definizioni, da cinque **postulati** (in greco αἰτήματα, «richieste»: ciò che si chiede di ammettere senza dimostrazione) e da alcune nozioni comuni, e ne deducono centinaia di teoremi. I primi quattro postulati sono brevi ed evidenti: per due punti si può tracciare una retta, ogni segmento si può prolungare, si può tracciare un cerchio di dato centro e raggio, tutti gli angoli retti sono uguali. Il quinto è diverso. Afferma che, se una retta che taglia altre due forma dalla stessa parte angoli interni la cui somma è minore di due retti, quelle due rette, prolungate all'infinito, si incontrano da quella parte. In una forma equivalente, divenuta comune nei manuali dell'Ottocento: *per un punto esterno a una retta passa una e una sola parallela a essa*. Il **quinto postulato** parla di ciò che accade «all'infinito», dove nessuno può guardare; per questo per secoli i matematici cercarono di dimostrarlo a partire dagli altri quattro, senza riuscirci.

Il tentativo più ostinato fu quello del gesuita Girolamo Saccheri, professore a Pavia, nel libro *Euclides ab omni naevo vindicatus* («Euclide liberato da ogni macchia», 1733). Saccheri negò il postulato e cercò la contraddizione che lo avrebbe confermato per assurdo; ricavò invece una serie di teoremi strani ma coerenti, che dichiarò «ripugnanti alla natura della retta» senza aver trovato un vero errore logico. Un secolo dopo il passo decisivo fu compiuto da tre matematici. Il russo Nikolaj Lobačevskij (1792–1856) pubblicò nel 1829–1830 una geometria in cui per un punto esterno passano *infinite* parallele; l'ungherese János Bolyai (1802–1860) giunse agli stessi risultati nel 1832; Carl Friedrich Gauss vi era arrivato da tempo, ma non pubblicò nulla, temendo, scrisse nel 1829, lo «strillo dei Beoti» (il proverbio ateniese sulla rozzezza dei vicini di Beozia). Nel 1854 Bernhard Riemann (1826–1866), nella lezione di abilitazione a Gottinga (stampata nel 1868), mostrò che la geometria di uno spazio dipende dalla sua «curvatura», che può variare da punto a punto; dalla sua impostazione deriva anche una geometria in cui le parallele *non esistono*.

Le **geometrie non euclidee** sono dunque sistemi deduttivi che sostituiscono il quinto postulato con un altro. Si possono «vedere» grazie a dei *modelli*, cioè superfici su cui le «rette» sono le linee di minima distanza (le geodetiche). Sulla superficie di una sfera, dove le «rette» sono i cerchi massimi come l'equatore e i meridiani, due rette si incontrano sempre: è il modello (semplificato) della geometria *ellittica*, in cui la somma degli angoli di un triangolo è maggiore di 180°. Sulle superfici a curvatura negativa, che in ogni punto hanno la forma di una sella, come la *pseudosfera* studiata dal matematico italiano Eugenio Beltrami nel 1868, vale invece la geometria *iperbolica* di Lobačevskij e Bolyai, nella quale la somma è minore di 180° (Figura 13.2). In entrambi i casi la differenza da 180° è proporzionale all'area del triangolo: un triangolo molto piccolo è quasi euclideo. Il modello di Beltrami ebbe anche un significato logico: se la geometria iperbolica contenesse una contraddizione, la conterrebbe anche la geometria euclidea in cui il modello è costruito. Le nuove geometrie sono coerenti quanto quella di Euclide.

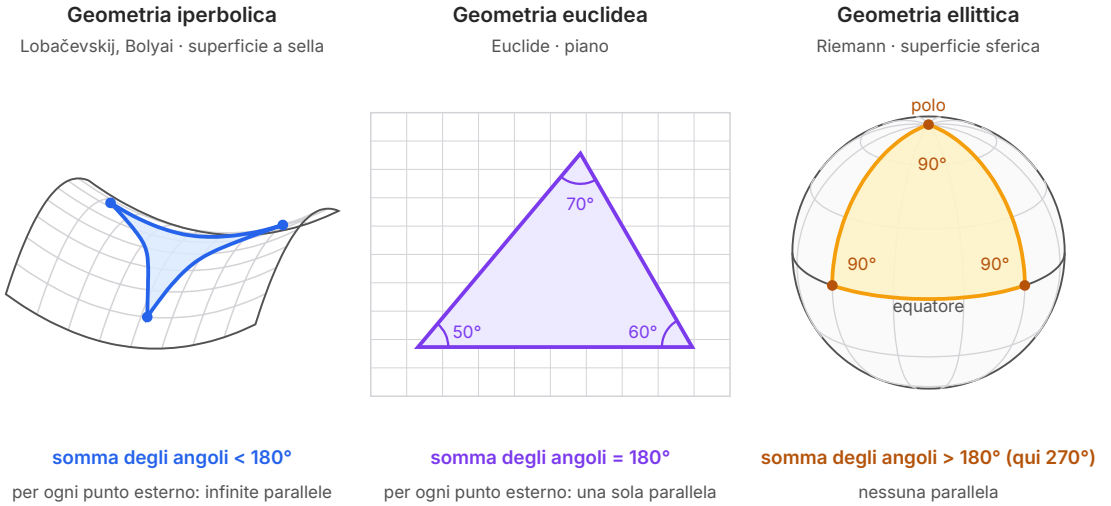


Figura 13.2 Le tre geometrie a confronto. A sinistra, un triangolo su una superficie a sella (schema: i lati, curvati verso l'interno, rappresentano le geodetiche); al centro, un triangolo nel piano euclideo con angoli di 50°, 60° e 70°; a destra, sulla sfera, il triangolo che ha un vertice al polo e due sull'equatore, distanti 90° di longitudine: i suoi tre angoli sono retti.

ESEMPIO SVOLTO

Quanto vale la somma degli angoli sulla Terra? Sulla sfera vale una formula semplice (teorema di Girard): l'*eccesso* di un triangolo, cioè di quanto la somma degli angoli supera 180°, è uguale all'area del triangolo divisa per il quadrato del raggio, con l'angolo espresso in radianti. In gradi: eccesso = (area / R^2) × 57,3°.

1. **Triangolo dell'ottante.** Il triangolo della Figura 13.2 (polo nord e due punti dell'equatore distanti 90°) occupa un ottavo della superficie terrestre. Con $R \approx 6371$ km la superficie della Terra è $4\pi R^2 \approx 510$ milioni di km², dunque l'area è ≈ 63,8 milioni di km². Eccesso: 63,8 milioni / $6371^2 \approx 1{,}571$ radianti = 90°. Somma: 180° + 90° = 270°, cioè tre angoli retti.
2. **Un triangolo di 100 000 km²** (circa un terzo dell'Italia): eccesso = 100 000 / 6371^2 × 57,3° ≈ 0,14°, cioè circa 8,5 primi d'arco.
3. **Un triangolo di 1 km²**: eccesso ≈ 0,000 001 4°, circa cinque millesimi di secondo d'arco, molto al di sotto di ciò che uno strumento da cantiere può misurare.

Conclusione: su una superficie curva la geometria euclidea vale con ottima approssimazione per le figure piccole e fallisce per quelle grandi. È la ragione per cui, nel passo che leggerai in T1, Poincaré riferisce l'opinione di chi si chiede se i nostri triangoli siano soltanto troppo «piccoli» per accorgersi che lo spazio non è euclideo.

13.1.3 Il metodo assiomatico

Se esistono più geometrie ugualmente coerenti, che cosa sono allora i loro postulati? Non più verità evidenti sullo spazio, ma *punti di partenza* scelti per costruire un sistema. Questa idea prese forma compiuta nei *Fondamenti della geometria* (1899) di David Hilbert (1862–1943), professore a Gottinga. Hilbert riformulò la geometria euclidea con una ventina di assiomi, di cui studiò la coerenza e l'indipendenza reciproca, e chiarì che termini come «punto», «retta» e «piano» non hanno bisogno di essere definiti in sé: il loro significato è stabilito soltanto dalle relazioni che gli assiomi fissano tra di essi. Secondo un ricordo del suo allievo Otto Blumenthal, Hilbert diceva che al posto di «punti, rette, piani» si dovrebbe poter dire sempre «tavoli, sedie, boccali di birra». Nasce così il **metodo assiomatico** moderno: una teoria matematica è un insieme di assiomi e delle loro conseguenze logiche; ciò che conta è che sia coerente, non che descriva lo spazio reale.

13.1.4 Mach e la critica dello spazio assoluto

Il fisico austriaco Ernst Mach (1838–1916), professore a Praga e poi a Vienna, ne *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico* (1883) ripercorse la storia della disciplina per distinguere ciò che deriva dall'esperienza da ciò che vi è stato aggiunto. Il suo bersaglio principale fu lo **spazio assoluto** di Newton: uno spazio immobile, indipendente da ogni corpo, rispetto al quale ogni moto sarebbe «vero». Newton lo aveva difeso con l'esperimento del secchio: se si fa ruotare un secchio d'acqua, la superficie dell'acqua si incurva, e questo, secondo Newton, rivela la sua rotazione rispetto allo spazio assoluto. Mach obiettò che l'esperimento mostra soltanto una rotazione *relativa*: rispetto alla Terra e alle stelle fisse. Nessuno può dire che cosa accadrebbe se le pareti del secchio diventassero sempre più spesse e massicce, fino a uno spessore di parecchie miglia; parlare di uno spazio che non si può osservare in alcun modo significa uscire dalla scienza.

Dietro questa critica c'è una filosofia della scienza. Per Mach la scienza non scopre «cose in sé» dietro i fenomeni: descrive in modo economico le relazioni tra gli elementi dell'esperienza, le sensazioni. Le leggi sono riassunti che risparmiano lavoro al pensiero (Mach parla di *economia del pensiero*), e i concetti che non rimandano a nessuna esperienza possibile vanno eliminati. Einstein riconobbe sempre il proprio debito verso la critica di Mach allo spazio e al tempo assoluti; nel 1928 i filosofi di Vienna intitolarono a Mach la loro associazione culturale.

13.1.5 Poincaré: le convenzioni della scienza

Il matematico francese Henri Poincaré (1854–1912), uno dei maggiori scienziati del suo tempo, affrontò il problema delle geometrie ne *La scienza e l'ipotesi* (1902), un libro scritto per un pubblico colto e tradotto subito in molte lingue. La domanda era: quale geometria è vera? Poincaré la scompone (lo leggerai in T1). Gli assiomi della geometria non sono giudizi sintetici a priori, come voleva Kant, perché allora non potremmo nemmeno pensare il loro contrario, e invece le geometrie non euclidee esistono e sono coerenti. Non sono neppure verità sperimentali, per-

ché nessun esperimento riguarda rette e cerchi ideali; e se lo fossero, la geometria sarebbe una scienza approssimativa, sempre da rivedere. Sono invece *convenzioni*: scelte libere, guidate dall'esperienza ma limitate soltanto dalla necessità di non contraddirsi. Chiedere se la geometria euclidea sia vera è come chiedere se il sistema metrico sia più vero delle vecchie misure: una geometria non può essere più vera di un'altra, può solo essere più comoda.

Questa posizione si chiama **convenzionalismo** (da non confondere con quello dei sofisti, che riguardava le leggi e i valori della città): in Poincaré, la tesi che alcuni principi fondamentali della scienza non sono né verità necessarie né generalizzazioni dell'esperienza, ma convenzioni adottate perché semplici e utili. Non tutta la scienza, però: le leggi sperimentali restano per Poincaré conoscenze vere, anche se approssimate e rivedibili. Nello stesso periodo il fisico francese Pierre Duhem (*La teoria fisica*, 1906) notò che un esperimento non mette mai alla prova un'ipotesi isolata, ma sempre un gruppo di ipotesi insieme agli strumenti che si usano per controllarle: se la previsione fallisce, la logica non dice quale ipotesi abbandonare. Ritroverai il problema con Popper e con Lakatos.

DA RICORDARE

Poincaré. Gli assiomi della geometria non sono né verità a priori né fatti d'esperienza, ma **convenzioni**, cioè «definizioni mascherate». La scelta tra le convenzioni è libera, ma non arbitraria: è guidata dall'esperienza e dalla comodità. La geometria euclidea non è «più vera» delle altre: è la più semplice e si accorda bene con il comportamento dei corpi solidi con cui misuriamo.

COLLEGAMENTI

Greco e Matematica. Puoi leggere il quinto postulato nell'originale, nel primo libro degli *Elementi*: la conclusione dice che le due rette, ἐκβαλλομένας … ἐπ᾽ ἄπειρον συμπίπτειν, «prolungate all'infinito, si incontrano» (traduzione della redazione). Il verbo συμπίπτω è lo stesso che indica il «cadere insieme», il coincidere. In Matematica, quest'anno, il metodo assiomatico è il modo in cui si costruisce ogni teoria, dall'aritmetica all'analisi.

Fisica. La relatività generale, di cui leggerai tra poco, descrive la gravità come curvatura dello spaziotempo e usa la geometria di Riemann: la geometria non euclidea, nata come esercizio logico, divenne lo strumento per descrivere l'universo. Se il tuo corso di Fisica affronta la fisica del Novecento, potrai riprendere questo collegamento.

13.2 La fisica del Novecento e i limiti dei sistemi formali

13.2.1 La relatività: lo spazio e il tempo senza assoluto

Nel 1905 Albert Einstein (1879–1955) pubblicò l'articolo che fondava la **relatività ristretta**. Partiva da due principi: le leggi della fisica sono le stesse per tutti gli osservatori in moto rettilineo uniforme gli uni rispetto agli altri, e la velocità della luce nel vuoto è la stessa per tutti questi osservatori. Le conseguenze erano sorprendenti. La più importante per la filosofia è la **relatività della simultaneità**: due eventi lontani che per un osservatore avvengono nello stesso istante, per un altro osservatore in moto rispetto al primo non sono simultanei. Einstein lo spiegò in un libro divulgativo con l'esempio di due fulmini che colpiscono i binari in due punti, A e B: un osservatore fermo a metà strada sulla massicciata li vede arrivare insieme; un passeggero seduto in un treno in corsa, nel punto che in quel momento si trovava a metà strada, va incontro alla luce di uno dei due e la riceve prima. Non esiste un «adesso» valido per tutto l'universo: il tempo assoluto di Newton, che «scorre uniformemente» senza relazione con nulla di esterno, scompare dalla fisica, come Mach aveva auspicato. Dalla stessa teoria deriva l'equivalenza tra massa ed energia, espressa dalla formula $E = mc^2$.

Nel 1915 la **relatività generale** estese la teoria al moto accelerato e alla gravitazione: la presenza di masse incurva lo spaziotempo, e i corpi si muovono lungo le geodetiche di questo spaziotempo curvo. La geometria dell'universo fisico, dunque, non è euclidea; Euclide vale soltanto come approssimazione in regioni piccole o lontane da grandi masse, esattamente come sulla superficie terrestre. La teoria faceva una previsione controllabile: la luce di una stella che passa vicino al Sole deve deviare di un angolo doppio rispetto a quello calcolabile con la fisica di Newton. Durante l'eclissi totale del 29 maggio 1919 due spedizioni britanniche, nell'isola di Príncipe, nel golfo di Guinea, e a Sobral, in Brasile, fotografarono le stelle vicine al Sole oscurato; il 6 novembre 1919, in una seduta comune della Royal Society e della Royal Astronomical Society, l'astronomo reale Frank Dyson e Arthur Eddington, che aveva guidato la spedizione di Príncipe, annunciarono che i risultati davano ragione a Einstein. Ritroverai questo episodio con Popper.

ERRORE FREQUENTE

Relatività non significa relativismo. La teoria di Einstein non dice che «tutto è relativo» né che ogni punto di vista vale l'altro. Al contrario, cerca ciò che resta *invariante* per tutti gli osservatori: la velocità della luce, la forma delle leggi fisiche, una certa combinazione di distanze spaziali e intervalli di tempo. Relative sono alcune grandezze che la fisica di Newton credeva assolute (la simultaneità, la durata, la lunghezza), non la verità delle leggi. Usare la parola «relatività» per sostenere che i valori morali o le opinioni sono soggettivi è un gioco di parole, non una conseguenza della fisica.

13.2.2 I quanti e il problema del determinismo

Nel dicembre 1900 Max Planck, per spiegare come i corpi caldi emettono radiazione, ipotizzò che l'energia sia scambiata solo in quantità discrete, multiple di un «quanto». Nei decenni seguenti questa ipotesi, nata quasi come un espediente di calcolo, divenne una teoria generale della materia e della luce, la **meccanica quantistica**. Le sue conseguenze filosofiche riguardano soprattutto il **determinismo**. Nel 1814 il matematico Pierre-Simon de Laplace aveva immaginato un'intelligenza che, conoscendo in un istante le posizioni e le velocità di tutte le particelle dell'universo e le forze che agiscono su di esse, potrebbe calcolare con certezza tutto il futuro e tutto il passato. Nel 1927 Werner Heisenberg formulò il **principio di indeterminazione**: non è possibile conoscere con precisione arbitraria, nello stesso tempo, la posizione e la velocità (più esattamente, la quantità di moto) di una particella; più si precisa l'una, più l'altra resta indeterminata. Non si tratta di un difetto degli strumenti, ma di un limite che fa parte della teoria. Le leggi della meccanica quantistica, inoltre, prevedono in molti casi soltanto la *probabilità* dei risultati di una misura.

Secondo l'interpretazione prevalente, detta «di Copenaghen» dalla città del fisico danese Niels Bohr, il caso è nella natura stessa, e il sogno di Laplace è impossibile in linea di principio. Einstein non accettò mai questa conclusione: in una lettera al fisico Max Born del dicembre 1926 scrisse di essere convinto che Dio non giochi a dadi. Il dibattito non è chiuso; per la filosofia conta che la fisica, modello del sapere certo e deterministico, descrivesse ora il mondo con leggi statistiche e dovesse discutere il ruolo della misura.

13.2.3 Gödel e i limiti dei sistemi formali

Negli stessi anni la crisi toccò la matematica pura. Dopo la scoperta delle antinomie della teoria degli insiemi, come il paradosso di Russell (ne parla il capitolo 12), Hilbert propose un programma: formalizzare tutta la matematica con assiomi e regole esplicite, e poi dimostrare, con metodi elementari e sicuri, che quel sistema non può portare a contraddizioni. Hilbert era ottimista; a Königsberg, nel settembre 1930, chiuse un discorso pubblico con le parole «Dobbiamo sapere, sapremo». Negli stessi giorni e nella stessa città un giovane logico viennese, Kurt Gödel (1906–1978), presentò un risultato che pubblicò l'anno dopo: i **teoremi di incompletezza** (1931). Detti in modo informale: (1) in ogni sistema formale coerente, con assiomi ben definiti, abbastanza potente da esprimere l'aritmetica dei numeri naturali, esistono enunciati che il sistema non può né dimostrare né confutare; (2) un sistema di questo tipo, se è coerente, non può dimostrare la propria coerenza. Il programma di Hilbert, nella sua forma originaria, era irrealizzabile.

ERRORE FREQUENTE

Che cosa Gödel non ha dimostrato. I teoremi di incompletezza non dicono che la matematica sia contraddittoria, né che la verità sia relativa, né che «non si può dimostrare niente». Riguardano i *sistemi formali* che hanno precise caratteristiche (coerenza, assiomi elencabili, capacità di esprimere l'aritmetica). L'enunciato indecidibile costruito da Gödel, se il sistema è coerente, è anzi *vero*: il punto è che la verità aritmetica non si lascia catturare per intero da un unico sistema di assiomi. Si può aggiungere quell'enunciato come nuovo assioma, ma il sistema più forte avrà a sua volta enunciati indecidibili.

13.3 Il Circolo di Vienna

13.3.1 Un seminario del giovedì sera

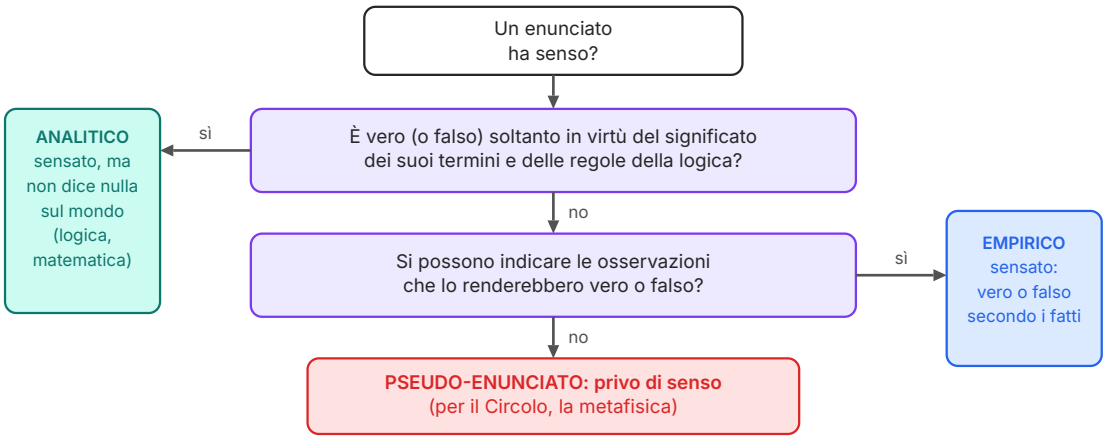
Nel 1922 il fisico e filosofo tedesco Moritz Schlick (1882–1936) fu chiamato all'università di Vienna sulla cattedra che era stata di Mach. Dal 1924 riunì ogni giovedì sera un gruppo di scienziati e filosofi: il matematico Hans Hahn, il sociologo ed economista Otto Neurath (1882–1945), il fisico Philipp Frank e dal 1926 il filosofo Rudolf Carnap (1891–1970); vi partecipava anche il giovane Kurt Gödel. Nel 1929 Hahn, Neurath e Carnap firmarono un opuscolo-programma dedicato a Schlick, *La concezione scientifica del mondo. Il Circolo di Vienna*; dal 1930 il gruppo ebbe una rivista, *Erkenntnis* («Conoscenza»). La sua filosofia si chiama **neopositivismo** o *empirismo logico*: come i positivisti dell'Ottocento, i viennesi ritenevano che ogni conoscenza del mondo venga dall'esperienza; a differenza di loro, disponevano della nuova logica di Frege e di Russell, che permetteva di analizzare con precisione la struttura degli enunciati.

Un testo ebbe nel Circolo un ruolo speciale: il *Tractatus logico-philosophicus* di Wittgenstein (1921), discusso proposizione per proposizione nel 1926–1927 (lo studi nel capitolo 12). Da esso i viennesi presero l'idea che le verità della logica siano *tautologie*, vere in virtù della sola forma, e che compito della filosofia sia chiarire il senso degli enunciati, non produrre dottrine. Wittgenstein, però, non fece mai parte del gruppo. Il manifesto del 1929 riassume lo spirito comune in una formula: nella scienza «non ci sono profondità», ovunque c'è superficie. Contro la metafisica e contro le filosofie nazionaliste e irrazionaliste degli anni Venti, i viennesi volevano una cultura fondata sulla chiarezza e sulla collaborazione scientifica, che consideravano anche un progetto di emancipazione sociale.

13.3.2 Il principio di verificazione

Il cuore del neopositivismo è un criterio di significato. Gli enunciati sensati sono di due soli tipi (Figura 13.3). Ci sono gli enunciati **analitici**, veri o falsi soltanto in virtù del significato dei termini e delle regole logiche: «nessuno scapolo è sposato», «7 + 5 = 12» (i neopositivisti, contro Kant, consideravano analitica anche la matematica). Sono certi, ma non dicono nulla sul

mondo. E ci sono gli enunciati **empirici**, che dicono qualcosa sul mondo e possono essere veri o falsi a seconda dei fatti. Ma come si capisce che cosa un enunciato empirico dice? Secondo il **principio di verificazione**, il significato di un enunciato è il metodo della sua verificazione: capire un enunciato vuol dire sapere quali osservazioni lo renderebbero vero e quali lo renderebbero falso. Nel testo delle lezioni che tenne a Londra nel 1932, rivisto negli anni seguenti (lo leggerai in T2), Schlick lo considera il principio fondamentale del filosofare. Conta la verificabilità *in linea di principio*, non quella pratica: Schlick faceva l'esempio delle montagne sull'altra faccia della Luna, che nessuno allora poteva vedere ma che si potevano descrivere come osservabili da un viaggiatore.



Esempi

- «Nessuno scapolo è sposato»; «7 + 5 = 12» → analitici
- «L'acqua bolle a 100 °C al livello del mare» → empirico (e vero)
- «Sulla faccia nascosta della Luna ci sono montagne» (prima del 1959) → empirico: verificabile in linea di principio
- «L'assoluto è al di là del tempo»; «il niente nientifica» → pseudo-enunciati

Figura 13.3 Il principio di verificazione come procedura di decisione: un enunciato ha senso se è analitico o se è empiricamente verificabile, almeno in linea di principio; altrimenti è uno pseudo-enunciato. Gli esempi in basso sono della redazione, tranne il secondo enunciato rosso, di Heidegger, criticato da Carnap.

ESEMPIO SVOLTO

Applicare il criterio. Classifichiamo quattro enunciati come avrebbe fatto un membro del Circolo.

1. «Il ferro si dilata se riscaldato». Indica osservazioni precise (misurare una sbarra prima e dopo averla scaldata): è **empirico** e sensato; in questo caso, vero.
2. «Su Saturno piove diamante». Nessuno lo ha osservato, ma si possono descrivere le osservazioni che lo confermerebbero: è **empirico** e sensato, vero o falso che sia.
3. «Un triangolo ha tre angoli». È vero per il significato della parola «triangolo»: **analitico**, sensato ma privo di contenuto sul mondo.
4. «Dietro i fenomeni c'è un'anima del mondo che li guida, ma non si manifesta in alcun fenomeno». Nessuna osservazione possibile lo renderebbe vero o falso, e non è vero per definizione: per il Circolo è uno **pseudo-enunciato**. Non è falso, è privo di senso cognitivo.

Nota la differenza fra «falso» e «privo di senso»: l'enunciato 4 non viene confutato, ma escluso dal discorso conoscitivo. È la mossa che caratterizza il neopositivismo.

13.3.3 L'eliminazione della metafisica

Il principio di verificazione aveva una conseguenza radicale: gli enunciati della metafisica tradizionale, su Dio, sull'assoluto, sull'essere, non sono falsi ma *privi di senso*. Lo sostenne Carnap nel saggio *Il superamento della metafisica mediante l'analisi logica del linguaggio* (1932). Gli enunciati metafisici nascono da parole a cui non corrisponde alcun criterio di applicazione, oppure da frasi grammaticalmente corrette ma logicamente mal costruite. Come esempio Carnap scelse alcune frasi della lezione di Martin Heidegger *Che cos'è la metafisica?* (1929), in cui si legge che «il niente stesso nientifica»: il nome «niente» vi è usato come se indicasse un oggetto, mentre in logica serve solo a negare un'esistenza («non c'è nulla che...»). La metafisica, concludeva Carnap, esprime un sentimento della vita, ma nella forma sbagliata di una teoria: i metafisici sono musicisti senza talento musicale. Il confronto è diventato il simbolo della divisione novecentesca tra filosofia «analitica» e «continentale».

13.3.4 Gli enunciati protocollari e la nave di Neurath

Se ogni conoscenza si basa sull'esperienza, quali enunciati la registrano direttamente? Il Circolo li chiamò **enunciati protocollari**: le frasi che riportano un'osservazione, come quelle di un protocollo di laboratorio. Su che cosa siano si aprì all'inizio degli anni Trenta un dibattito interno. Per Schlick sono il fondamento sicuro della conoscenza, il punto in cui il linguaggio tocca l'esperienza vissuta («qui ora rosso»). Neurath rispose nel saggio *Enunciati protocollari* (1932) che anche questi sono frasi come le altre, formulate in un linguaggio pubblico e fisico, che parlano di un osservatore, di un tempo e di un luogo («protocollo di Otto alle 3 e 17: ...»), e che possono essere scartate se entrano in conflitto con il resto del sistema. Non esiste un fondamento

ultimo: un enunciato si accetta se è coerente con l'insieme delle conoscenze accettate. Per spiegarlo Neurath usò l'immagine che è diventata la sua firma (T2): siamo come navigatori che devono ricostruire la nave in mare aperto, senza mai poterla portare in un bacino di carenaggio e rifarla da capo con i pezzi migliori.

Neurath difese anche il **fisicalismo**: tutti gli enunciati delle scienze, comprese la psicologia e la sociologia, si possono tradurre in un unico linguaggio, quello che parla di oggetti e processi nello spazio e nel tempo. Da qui il progetto dell'**unità della scienza**: non una scienza unica, ma un linguaggio comune che permetta alle discipline di collaborare, realizzato dal 1938 in una *Enciclopedia internazionale della scienza unificata*.

13.3.5 Difficoltà e fine del Circolo

Il principio di verificazione incontrò presto obiezioni serie. Le **leggi universali** («tutti i metalli si dilatano con il calore») riguardano infiniti casi e non possono essere verificate in modo definitivo da nessun numero finito di osservazioni: preso alla lettera, il criterio avrebbe escluso dalla scienza proprio le leggi di natura. Inoltre il principio stesso non è né analitico né verificabile con l'esperienza: secondo il suo stesso criterio, sembrerebbe privo di senso. I neopositivisti risposero modificandolo: Carnap, in *Controllabilità e significato* (1936–1937), sostituì la verificazione con la *confermabilità*, una conferma graduale e mai definitiva, e presentò il criterio come una proposta su come usare il linguaggio scientifico piuttosto che come una verità.

La storia del Circolo fu interrotta dalla politica. Hahn morì nel 1934; nello stesso anno, dopo la guerra civile austriaca, il socialista Neurath dovette restare all'estero. Il 22 giugno 1936 Schlick fu ucciso, all'università, da un suo ex studente squilibrato; parte della stampa presentò il delitto come una reazione alla filosofia «distruttiva» e, falsamente, «ebraica» del Circolo, e dopo l'annessione nazista l'assassino fu rilasciato. Con l'*Anschluss* del 1938 il gruppo si disperse: Carnap si era già trasferito negli Stati Uniti; Neurath, che viveva in Olanda, nel 1940 fuggì in Inghilterra davanti all'invasione tedesca, e lì morì nel 1945. L'empirismo logico continuò nel mondo di lingua inglese, dove per qualche decennio fu la filosofia della scienza dominante.

13.4 Popper: la falsificabilità

13.4.1 Un viennese fuori dal Circolo

Karl Popper (1902–1994) nacque a Vienna in una famiglia borghese di origine ebraica. Da ragazzo fu vicino ai comunisti, lavorò come apprendista ebanista e collaborò con lo psicologo Alfred Adler nei consultori per l'infanzia; si laureò in filosofia nel 1928 e insegnò nelle scuole. Discuteva con i membri del Circolo di Vienna, ma non ne fece mai parte: Neurath, ricorderà lui stesso, lo chiamava l'opposizione ufficiale del Circolo. La *Logica della scoperta scientifica* fu stampata alla fine del 1934 con la data 1935, paradossalmente in una collana diretta da Schlick e Frank. Nel 1937 Popper emigrò in Nuova Zelanda; dal 1946 insegnò alla London School of Economics.

13.4.2 Il problema dell'induzione

Popper parte da due problemi, che considera collegati. Il primo è il **problema dell'induzione**, posto da Hume (lo hai studiato in *Filosofia 4*, capitolo 9): nessun numero di osservazioni particolari giustifica logicamente una conclusione universale. Che il Sole sia sorto ogni mattina finora non dimostra che sorgerà domani; che tutti i cigni osservati in Europa fossero bianchi non dimostrava che tutti i cigni siano bianchi, e infatti nel 1697 i navigatori olandesi trovarono in Australia cigni neri. Non serve nemmeno invocare un «principio di induzione» che garantisca l'uniformità della natura: o lo si giustifica a sua volta con l'induzione, e si gira in tondo, o lo si accetta a priori, e si abbandona l'empirismo. La conclusione di Popper è netta: l'induzione non è il metodo della scienza. Le teorie non si ricavano dai fatti; sono **congetture**, ipotesi audaci inventate per risolvere problemi, e la scienza le mette alla prova deducendone conseguenze controllabili.

13.4.3 Il criterio di demarcazione

Il secondo problema è quello della **demarcazione**: trovare un criterio per distinguere la scienza empirica dalla matematica e dalla logica da un lato, dalla metafisica e dalle pseudoscienze dall'altro. Il Circolo di Vienna lo cercava nella verificabilità, ma, come si è visto, le leggi universali non sono verificabili. Popper osserva che fra verificazione e falsificazione c'è una **asimmetria** logica (Figura 13.4). Un enunciato universale non può essere dedotto da nessun numero di enunciati particolari, ma può essere contraddetto da un solo enunciato particolare. Da «se la teoria è vera, allora si osserverà O» e «si osserva O» non segue che la teoria sia vera: sarebbe la fallacia dell'affermazione del conseguente. Da «se la teoria è vera, allora si osserverà O» e «non si osserva O» segue invece, con un'inferenza valida che i logici chiamano **modus tollens**, che la teoria è falsa.

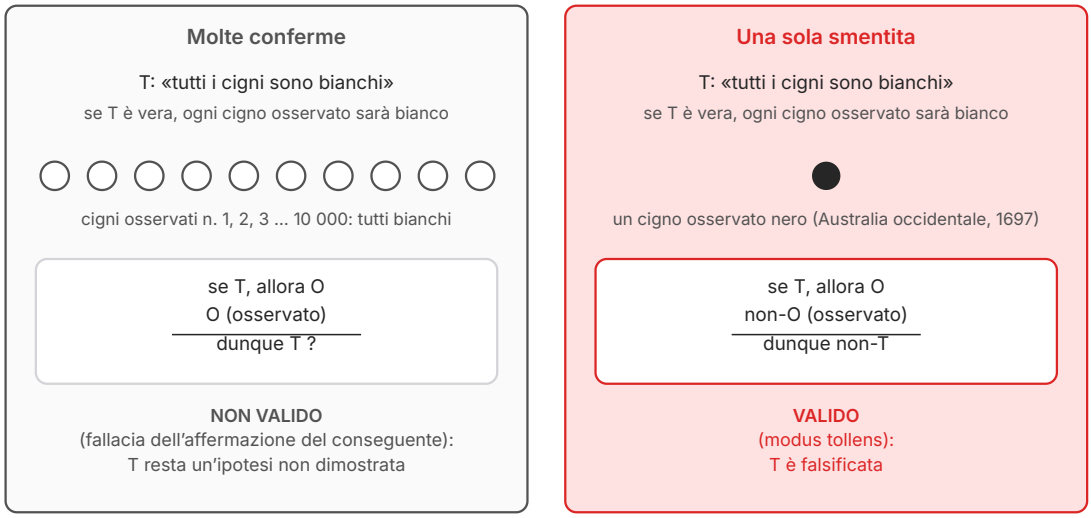


Figura 13.4 L'asimmetria tra verificazione e falsificazione secondo Popper. A sinistra, diecimila conferme non dimostrano la legge, perché l'inferenza non è valida; a destra, un solo controesempio basta a confutarla, con un'inferenza valida (modus tollens). T = teoria, O = osservazione prevista.

Da qui il criterio: una teoria è scientifica se è **falsificabile**, cioè se esclude qualcosa, se vieta alcuni eventi osservabili, in modo che si possa indicare in anticipo quale osservazione la smentirebbe. «Domani pioverà o non pioverà» non è falsificabile: è compatibile con qualunque tempo atmosferico, e proprio per questo non dice nulla. «Tutti i pianeti si muovono su orbite ellittiche» è falsificabile: vieta infinite traiettorie possibili. Quanto più una teoria vieta, tanto più contenuto ha e tanto più è esposta alla smentita: per Popper le buone teorie sono improbabili e audaci, non prudenti. Una teoria che ha superato controlli severi, che avrebbero potuto smentirla, non è per questo verificata: è **corroborata**, cioè ha dato finora buona prova di sé, e resta una congettura. La scienza cresce così, per **congetture e confutazioni**: si propongono ipotesi, si cerca di confutarle, si sostituiscono quelle confutate con ipotesi migliori. È un procedimento per prova ed errore, simile, osserva Popper, alla selezione naturale di Darwin: sopravvivono le teorie che resistono ai tentativi di eliminarle.

Resta un'obiezione, che Popper stesso discute. Una teoria smentita può sempre essere salvata: si può dire che l'osservazione era sbagliata, o aggiungere un'**ipotesi ad hoc**, cioè un'ipotesi introdotta solo per evitare la confutazione e non controllabile per conto suo (è il problema già indicato da Duhem). Popper riconosce che la logica da sola non lo impedisce; per questo il suo criterio è anche una *regola di metodo*: lo scienziato deve impegnarsi a non proteggere le proprie teorie con espedienti di questo genere. Neppure gli enunciati che descrivono le osservazioni, del resto, sono certi: sono accettati per decisione della comunità scientifica e possono essere rimessi in discussione. La scienza, scrive Popper con un'immagine vicina a quella di Neurath,

non poggia su un terreno solido, ma su palafitte piantate in una palude: abbastanza profonde da reggere l'edificio per ora, mai fino al fondo.

ERRORE FREQUENTE

La falsificabilità non è un criterio di significato. Per il Circolo di Vienna ciò che non è verificabile è privo di senso. Per Popper ciò che non è falsificabile non è *scientifico*, ma può avere senso, essere importante e perfino aiutare la scienza: l'atomismo di Democrito fu per secoli una dottrina metafisica, non controllabile, prima di diventare una teoria fisica. Il criterio di Popper traccia un confine tra scienza e non-scienza, non tra senso e non-senso. E falsificabile non vuol dire falso: vuol dire che si sa che cosa dovrebbe accadere perché fosse falso.

13.4.4 1919: Einstein, Marx, Freud e Adler

Popper raccontò che la sua idea era nata nel 1919, quando era ancora un ragazzo. A Vienna si discutevano la relatività di Einstein, la teoria della storia di Marx, la psicoanalisi di Freud e la «psicologia individuale» di Adler. Le ultime tre colpivano i loro seguaci perché ogni fatto sembrava confermarle. Popper notò che proprio questo era il loro punto debole. Con un esempio suo, un uomo che spinge un bambino in acqua per annegarlo e un uomo che si getta in acqua per salvarlo sono spiegati entrambi, nella teoria di Adler, dal sentimento di inferiorità: il primo vuole dimostrare a se stesso di osare un delitto, il secondo di osare un salvataggio. Una teoria che non esclude nessun comportamento non rischia nulla. La relatività, invece, aveva fatto una previsione precisa sulla deviazione della luce durante l'eclissi: un altro risultato l'avrebbe confutata. Quanto al marxismo, Popper sostenne che era nato falsificabile, perché prevedeva per esempio la rivoluzione nei paesi industriali più avanzati, ma che i suoi seguaci, quando le previsioni fallirono, lo resero inconfutabile reinterpretandone i termini. Sulla psicoanalisi il dibattito è continuato dopo Popper (capitolo 8).

ESEMPIO SVOLTO

Ricostruire l'argomento della demarcazione. Mettiamo in forma l'argomento di Popper contro la scientificità di una teoria che «spiega tutto».

- (P1) Una teoria è scientifica se e solo se è falsificabile, cioè se esiste almeno un'osservazione possibile incompatibile con essa.
- (P2) La teoria *X* è compatibile con ogni comportamento umano possibile (come mostra il caso dei due uomini e del bambino).
- (P3) [premessa implicita] Se una teoria è compatibile con ogni osservazione possibile, non esiste un'osservazione incompatibile con essa.
- (C) Dunque la teoria *X* non è falsificabile e quindi non è scientifica.

Valutazione. L'argomento è **valido**: la conclusione segue dalle premesse. La discussione riguarda la loro verità. P1 è la proposta di Popper, che altri contestano (vedi Kuhn e Lakatos). P2 è la premessa più discutibile: un critico può sostenere che la teoria, formulata con precisione, vieta alcuni comportamenti e che il caso dei due uomini mostra solo una formulazione troppo vaga. Notare che l'argomento non conclude che la teoria sia falsa o inutile.

13.4.5 La società aperta e i suoi nemici

Durante la guerra Popper applicò le sue idee alla politica. In *Miseria dello storicismo* (articoli del 1944–1945, libro nel 1957) e in *La società aperta e i suoi nemici* (1945) attaccò lo **storicismo**, in un senso diverso da quello di Dilthey (capitolo 6): la pretesa di conoscere le leggi necessarie della storia e di prevederne il corso. È una pretesa infondata, perché il futuro dipende dalla crescita della conoscenza, che non si può prevedere; ed è pericolosa, perché autorizza a sacrificare le persone presenti a un futuro presunto. La **società aperta** è quella in cui le istituzioni possono essere criticate e i governanti cambiati senza spargimento di sangue: la democrazia corregge gli errori come la critica nella scienza. Al progetto di trasformare la società intera Popper contrappone riforme limitate, di cui si possono controllare gli effetti. I «nemici» della società aperta erano, nella sua lettura, Platone, Hegel e Marx. Riprenderai questi temi nel capitolo 14.

APPROFONDIMENTO

Platone e Hegel nemici della libertà? *La società aperta* ebbe un enorme successo, ma le sue letture dei classici furono contestate dagli specialisti. Lo studioso americano Ronald Levinson, in un libro intitolato *In difesa di Platone* (1953), mostrò che Popper traduceva e interpretava alcuni passi della *Repubblica* in modo forzato, proiettando su Platone le categorie del totalitarismo moderno. Il filosofo Walter Kaufmann (1959) criticò in modo simile il ritratto di Hegel come precursore del nazismo, costruito su citazioni isolate dal contesto. Molti storici della filosofia riconoscono a Popper il merito di aver posto una domanda seria (quale uso politico si può fare di una filosofia della storia?), ma considerano i suoi ritratti di Platone e di Hegel più polemici che storici. Puoi verificarlo tu stesso, con quanto hai studiato in *Filosofia 3* (capitolo 7) e in *Filosofia 4* (capitolo 16).

13.5 Kuhn e dopo: la storia della scienza

13.5.1 Un fisico che legge Aristotele

Thomas Kuhn (1922–1996) si formò come fisico a Harvard. Nel 1947, mentre preparava lezioni di storia della scienza per studenti di materie umanistiche, lesse la *Fisica* di Aristotele e la trovò, all'inizio, piena di errori grossolani. Poi capì che le parole di Aristotele, come «moto», non avevano il significato che hanno per un fisico moderno: lette dentro il loro sistema, le sue tesi erano coerenti e ragionevoli. Da questa esperienza nacque la convinzione che la storia della scienza non sia un accumulo di verità e di errori corretti, ma una successione di modi diversi di guardare la natura. Dopo un libro sulla rivoluzione copernicana (1957), Kuhn pubblicò nel 1962 *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*: per ironia della sorte, il libro uscì come volume dell'*Enciclopedia internazionale della scienza unificata* fondata da Neurath, e contribuì più di ogni altro a chiudere la stagione dell'empirismo logico.

13.5.2 Paradigma e scienza normale

Il concetto centrale del libro è quello di **paradigma**: un risultato scientifico esemplare, riconosciuto da tutti, che per un certo periodo fornisce a una comunità di studiosi i problemi da porre e il modello delle soluzioni, e che si trasmette con i manuali e con gli esercizi. Esempi sono la *Fisica* di Aristotele, l'astronomia di Tolomeo, i *Principia* di Newton, la chimica di Lavoisier. Prima che si formi un paradigma c'è una fase pre-paradigmatica, in cui scuole diverse discutono perfino sui fondamenti (Figura 13.5). Quando un paradigma si impone, comincia la **scienza normale**: il lavoro quotidiano della grande maggioranza degli scienziati, che non mette in discussione il paradigma ma lo applica, lo precisa e lo estende. Kuhn paragona questo lavoro alla soluzione di *rompicapi* (in inglese *puzzles*): un rompicapo ha una soluzione garantita, e chi non la trova incolpa la propria abilità, non le regole del gioco. Contro Popper, Kuhn sostiene che gli

scienziati, nella scienza normale, non cercano di confutare le teorie: le danno per buone, e proprio questa fiducia permette ricerche precise e profonde.

13.5.3 Anomalie, crisi, rivoluzioni

Durante la scienza normale emergono però **anomalie**: risultati che non tornano con le attese del paradigma. Di solito vengono assorbite o accantonate; ma se diventano numerose, o toccano punti essenziali, o resistono a ogni tentativo, si apre una **crisi**: la fiducia nel paradigma si incrina, si moltiplicano le versioni alternative, gli scienziati cominciano a discutere i fondamenti e a interessarsi di filosofia. La crisi si chiude quando un nuovo paradigma attira la maggioranza della comunità. È una **rivoluzione scientifica**, nel senso di Kuhn: non solo una scoperta, ma il passaggio da un modo di vedere il mondo a un altro, incompatibile con il primo. Kuhn la paragona a un cambiamento di *Gestalt*, come nella figura che si vede ora come un'anatra ora come un coniglio; e alle rivoluzioni politiche, nelle quali le istituzioni esistenti non bastano più a decidere il conflitto. Gli esempi sono la rivoluzione copernicana, che hai studiato in *Filosofia 4* (capitolo 3), il passaggio dalla chimica del flogisto a quella dell'ossigeno di Lavoisier, il passaggio dalla meccanica di Newton a quella di Einstein.

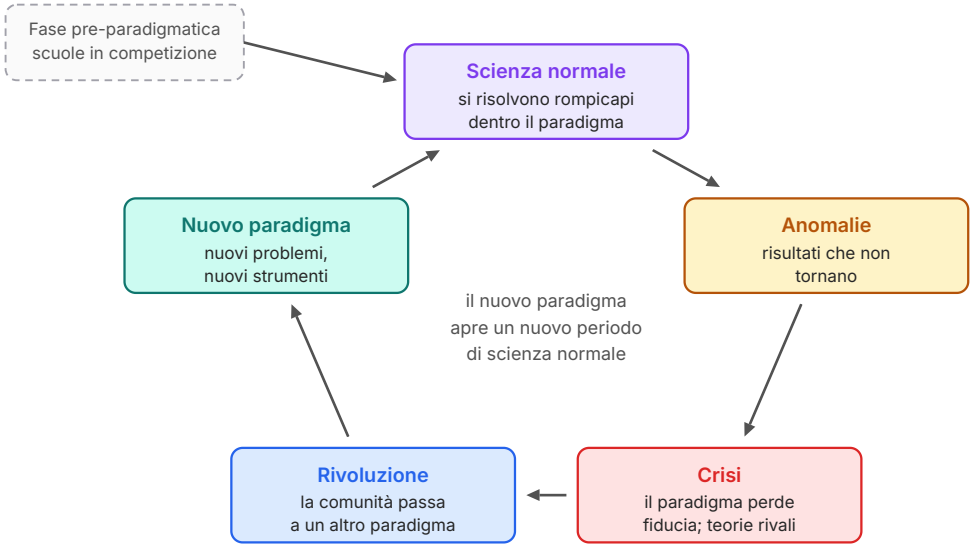


Figura 13.5 Il ciclo della scienza secondo Kuhn (*La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, 1962). Dalla fase pre-paradigmatica si entra nella scienza normale; le anomalie possono portare a una crisi e la crisi a una rivoluzione, che instaura un nuovo paradigma e un nuovo periodo di scienza normale.

13.5.4 L'incommensurabilità

La tesi più discussa di Kuhn è che paradigmi successivi siano **incommensurabili**: letteralmente, privi di una misura comune. Non c'è un linguaggio neutrale in cui confrontarli punto per punto, perché le stesse parole cambiano significato: per i tolemaici il Sole e la Luna erano «pianeti» e la Terra no; dopo Copernico la Terra è un pianeta e il Sole no. La «massa» di Newton si conserva sempre, quella di Einstein si può convertire in energia. Paradigmi diversi, inoltre, considerano importanti problemi diversi e adottano criteri diversi per giudicare una soluzione. Ne segue che il passaggio da un paradigma all'altro non può essere imposto da una dimostrazione o da un esperimento cruciale; somiglia piuttosto a una conversione, e a volte, osservava Kuhn citando il fisico Max Planck, si compie soltanto quando gli avversari della nuova teoria, invecchiando, scompaiono.

> ■ ERRORE FREQUENTE
>
> **Incommensurabile non vuol dire irrazionale.** Kuhn fu accusato di fare della scienza una questione di mode o di potere. Rispose (1977) che la scelta tra teorie è guidata da valori condivisi dalla comunità: precisione, coerenza, ampiezza, semplicità, fecondità. Questi valori non funzionano come un algoritmo, perché si possono pesare in modi diversi, ma escludono l'arbitrio. Kuhn, inoltre, non negava il progresso: le teorie successive risolvono più rompicapi e meglio. Negava soltanto che esso sia un avvicinamento progressivo a una verità fissata in anticipo.
>
> **«Paradigma» ha molti sensi.** La studiosa Margaret Masterman (1970) ne contò almeno ventuno nel libro di Kuhn. Kuhn lo riconobbe e nella *Poscritta* del 1969 distinse due sensi principali: la *matrice disciplinare*, cioè l'insieme di convinzioni, valori e tecniche di una comunità, e gli *esemplari*, le soluzioni modello su cui gli studenti si formano.

Il confronto diretto tra Popper e Kuhn avvenne in un convegno a Londra nel luglio 1965. Per Popper la scienza normale esiste, ma è un pericolo: lo scienziato «normale» è stato educato male, a non criticare. Per Kuhn la critica permanente che Popper prescrive descrive solo i periodi di crisi; se la scienza la praticasse sempre, non arriverebbe mai a risultati precisi. Gli atti del convegno, pubblicati nel 1970 con il titolo *La critica e la crescita della conoscenza*, contengono anche i contributi di due allievi di Popper che seguirono vie opposte.

13.5.5 Lakatos: i programmi di ricerca

Imre Lakatos (1922–1974), ungherese, ebreo sopravvissuto alla persecuzione nazista (la madre morì ad Auschwitz), poi incarcerato dal regime comunista, era fuggito in Inghilterra nel 1956 e insegnava a Londra con Popper. Nel saggio *La falsificazione e la metodologia dei programmi di ricerca scientifici* (1970) cercò una via tra i due. Contro Popper, osservò che nessuna grande teoria è stata abbandonata appena smentita: tutte sono nate e cresciute circondate da anomalie. Contro Kuhn, volle mostrare che la successione delle teorie ha criteri razionali. L'unità di valutazio-

ne non è una singola teoria, ma un **programma di ricerca**: una serie di teorie che condividono un **nucleo** di ipotesi fondamentali, protetto per decisione dagli scienziati (l'*euristica negativa*: non si tocca il nucleo), e circondato da una **cintura protettiva** di ipotesi ausiliarie, che vengono modificate per assorbire le anomalie, secondo un piano di sviluppo (l'*euristica positiva*). Un programma è **progressivo** se le sue modifiche portano a prevedere fatti nuovi, e almeno qualche volta queste previsioni si confermano; è **regressivo** se si limita a rincorrere i fatti con aggiustamenti ad hoc. Gli scienziati fanno bene ad abbandonare un programma regressivo quando ne esiste uno rivale progressivo (Figura 13.6).

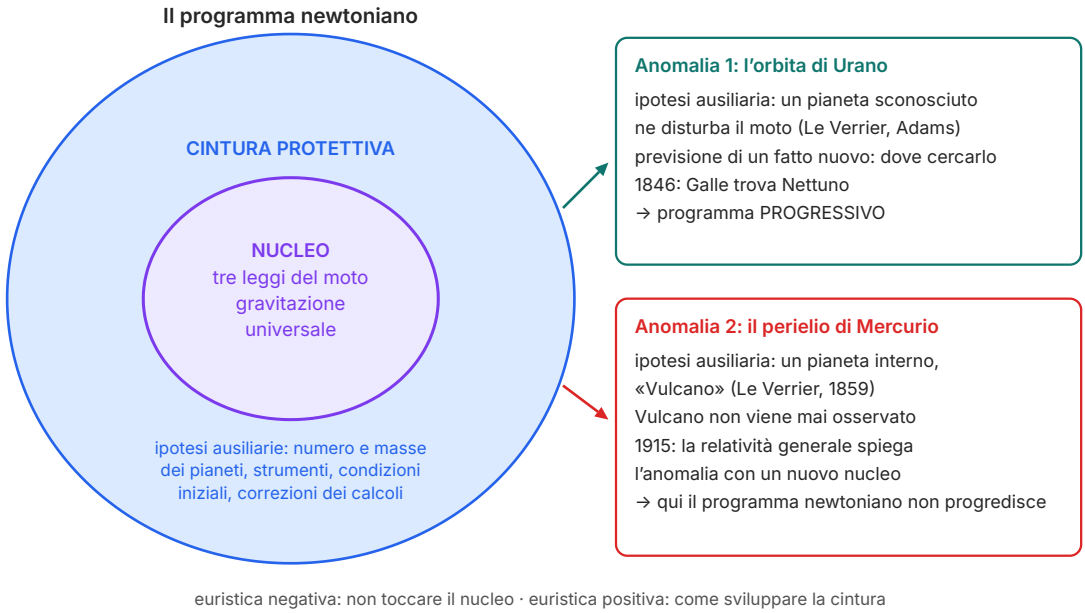


Figura 13.6 Un programma di ricerca secondo Lakatos, con l'esempio della meccanica di Newton. Il nucleo è protetto; le anomalie si affrontano modificando la cintura protettiva. La stessa mossa (ipotizzare un pianeta sconosciuto) produsse una scoperta nel caso di Urano e nessun risultato nel caso di Mercurio.

ESEMPIO SVOLTO

Due anomalie, due esiti. Seguiamo il programma newtoniano davanti a due dati che non tornano.

1. **Urano.** Nella prima metà dell'Ottocento il moto di Urano si discostava dalle tavole calcolate con la gravitazione di Newton. Un falsificazionista ingenuo avrebbe dovuto considerare la teoria confutata. Gli astronomi Urbain Le Verrier e John Couch Adams lasciarono invece intatto il nucleo e modificarono la cintura: ipotizzarono un pianeta sconosciuto che perturbava Urano e ne calcolarono la posizione. Il 23 settembre 1846 Johann Galle, all'osservatorio di Berlino, trovò Nettuno vicino al punto indicato. L'ipotesi ausiliaria aveva previsto un fatto nuovo: il programma era **progressivo**.
2. **Mercurio.** Il perielio di Mercurio, cioè il punto della sua orbita più vicino al Sole, avanza un poco più di quanto la teoria preveda (secondo il valore oggi accettato, circa 43 secondi d'arco per secolo). Nel 1859 Le Verrier tentò la stessa mossa e ipotizzò un pianeta interno, poi chiamato Vulcano. Vulcano non fu mai trovato. L'anomalia fu spiegata solo nel 1915 dalla relatività generale, cioè da un programma con un nucleo diverso.
3. **Il bilancio.** La stessa strategia, proteggere il nucleo con un'ipotesi ausiliaria, è razionale quando produce previsioni nuove confermate e non lo è più quando produce solo ipotesi che non trovano riscontro. Per Lakatos la razionalità della scienza si giudica nel tempo, confrontando programmi, non con un singolo esperimento.

13.5.6 Feyerabend: contro il metodo

L'austriaco Paul Feyerabend (1924–1994), anche lui allievo di Popper, insegnò a lungo a Berkeley. In *Contro il metodo* (1975) sostenne una tesi che chiamò **anarchismo metodologico**: nella storia della scienza non c'è regola di metodo, per quanto ragionevole, che non sia stata violata con profitto da qualche grande scienziato. Il suo esempio principale è Galileo, che contro l'argomento della torre (una pietra lasciata cadere da una torre cade ai suoi piedi, dunque la Terra è ferma) non aveva prove decisive: reinterpretò l'esperienza, usò il cannocchiale prima che una teoria ottica ne garantisse l'affidabilità, ricorse alla persuasione. Con le regole di Popper avrebbe dovuto abbandonare Copernico, che allora contrastava con molte osservazioni. Da qui la formula più celebre e più fraintesa del libro: se si vuole un principio valido in ogni circostanza, l'unico è «*anything goes*», «tutto può andar bene». Non è un invito all'arbitrio, ma la conclusione paradossale di chi cerca una regola universale; Feyerabend ne ricavava una difesa del pluralismo delle teorie, e più tardi chiese che, in una società libera, la scienza non avesse più autorità delle altre tradizioni nelle decisioni dei cittadini, una tesi molto discussa.

IN SINTESI

Tabella 13.1 Cinque risposte alla domanda «che cosa rende scientifica una teoria, e come cambia la scienza?».

	Criterio	Come cambia la scienza	Immagine chiave
Circolo di Vienna (1929)	verificabilità: ha senso ciò che è analitico o verificabile	accumulo di enunciati verificati; eliminazione della metafisica	la nave di Neurath
Popper (1934)	falsificabilità: è scientifico ciò che si può smentire	congetture e confutazioni; corroborazione provvisoria	il cigno nero; le palafitte
Kuhn (1962)	appartenenza a un paradigma condiviso da una comunità	scienza normale, anomalie, crisi, rivoluzione	l'anatra-coniglio
Lakatos (1970)	programmi progressivi, che prevedono fatti nuovi	competizione tra programmi di ricerca	nucleo e cintura protettiva
Feyerabend (1975)	nessun criterio universale	pluralismo e proliferazione delle teorie	«*anything goes*»

13.6 Leggere i testi

13.6.1 T1 · Poincaré: una geometria non è più vera di un'altra

Nota introduttiva. Il passo viene dalla parte finale del capitolo III, *Le geometrie non euclidee*, della seconda parte de *La scienza e l'ipotesi* (1902). Poincaré ha appena presentato le geometrie di Lobačevskij e di Riemann e si chiede quale sia la natura degli assiomi geometrici. Il «sistema metrico» è quello decimale, adottato in Francia alla fine del Settecento al posto delle antiche misure locali.

> La maggior parte dei matematici considera la geometria di Lobačevskij soltanto una semplice curiosità logica; alcuni di loro, tuttavia, sono andati oltre. Dato che sono possibili più geometrie, è proprio certo che la vera sia la nostra? L'esperienza ci insegna senza dubbio che la somma degli angoli di un triangolo è uguale a due retti; ma questo accade perché operiamo soltanto su triangoli troppo piccoli; la differenza, secondo Lobačevskij, è proporzionale alla superficie del triangolo: non potrà diventare sensibile quando opereremo su triangoli più grandi o quando le nostre misure diventeranno più precise? La geometria euclidea non sarebbe allora che una geometria provvisoria.

> Per discutere questa opinione dobbiamo prima chiederci quale sia la natura degli assiomi geometrici. Sono giudizi sintetici a priori, come diceva Kant? Allora si imporrebbero a noi con tale forza che non potremmo concepire la proposizione contraria, né costruire su di essa un edificio teorico. Non ci sarebbe una geometria non euclidea. [...]
>
> Dobbiamo dunque concludere che gli assiomi della geometria sono verità sperimentali? Ma non si fanno esperimenti su rette o su circonferenze ideali; li si può fare soltanto su oggetti materiali. [...] Se la geometria fosse una scienza sperimentale, non sarebbe una scienza esatta, sarebbe soggetta a una revisione continua. Che dico? Sarebbe già oggi convinta di errore, poiché sappiamo che non esiste un solido rigorosamente invariabile.
>
> Gli assiomi geometrici non sono dunque né giudizi sintetici a priori né fatti sperimentali. Sono *convenzioni*; la nostra scelta, fra tutte le convenzioni possibili, è guidata da fatti sperimentali; ma resta libera, ed è limitata soltanto dalla necessità di evitare ogni contraddizione. [...] In altre parole, gli assiomi della geometria (non parlo di quelli dell'aritmetica) non sono altro che definizioni mascherate.
>
> Che cosa si deve pensare, allora, di questa domanda: la geometria euclidea è vera? Non ha alcun senso. Tanto varrebbe chiedere se il sistema metrico è vero e le antiche misure false; se le coordinate cartesiane sono vere e le coordinate polari false. Una geometria non può essere più vera di un'altra; può soltanto essere più comoda.
>
> (Poincaré, *La scienza e l'ipotesi*, parte II, cap. III; traduzione della redazione)

1. Quale opinione Poincaré discute nel primo capoverso? Perché, secondo quell'opinione, la geometria euclidea sarebbe solo «provvisoria»?
2. Ricostruisci l'argomento contro Kant: quale fatto storico, studiato nel capitolo, lo rende convincente?
3. Perché gli assiomi non possono essere verità sperimentali? Spiega l'esempio del «solido rigorosamente invariabile».
4. Che cosa intende Poincaré con «definizioni mascherate»? Collega la risposta al metodo assiomatico di Hilbert.
5. Nel paragone con il sistema metrico, che cosa corrisponde alla «comodità» di una geometria? Sei d'accordo che la domanda «quale geometria è vera?» non abbia senso, dopo la relatività generale?

13.6.2 T2 · Schlick e Neurath: il significato e la nave

Nota introduttiva. Due voci del Circolo di Vienna a confronto. Il primo passo viene dalle lezioni che Schlick tenne in inglese all'università di Londra nel 1932, *Forma e contenuto. Introduzione al pensiero filosofico*, pubblicate dopo la sua morte (1938) nella versione che egli rivide negli anni successivi; è il paragrafo intitolato «Significato e verificazione». Schlick distingue la *frase* (una

serie di segni) dalla *proposizione* (una frase compresa). Il secondo passo viene dal saggio di Neurath *Enunciati protocollari*, uscito su *Erkenntnis* (vol. III, 1932–1933); il «demone di Laplace» è l'intelligenza che conoscerebbe tutto il futuro, gli «agglomerati» sono le espressioni imprecise del linguaggio comune.

> Negli argomenti precedenti ci siamo serviti spesso del principio secondo cui il significato di un'asserzione può essere dato soltanto indicando il modo in cui se ne controlla la verità. Qual è la giustificazione di questo principio? [...] Se non mi sbaglio, è il principio fondamentale del filosofare, e trascurarlo è la causa di tutti i guai seri della metafisica. [...]
>
> Non c'è il minimo mistero nel procedimento con cui si dà significato a una frase, cioè la si trasforma in una proposizione: consiste nel definire l'uso dei simboli che compaiono nella frase. E questo si fa sempre indicando le circostanze esatte in cui le parole, secondo le regole di quella particolare lingua, devono essere usate. [...] Deve essere ormai chiaro che c'è un solo modo di dare significato a una frase, di farne una proposizione: dobbiamo indicare le regole del suo uso, in altre parole dobbiamo descrivere i fatti che renderanno la proposizione «vera», e dobbiamo essere in grado di distinguerli dai fatti che la renderanno «falsa». In altre parole ancora: il significato di una proposizione è il metodo della sua verificazione.
>
> (Schlick, *Forma e contenuto*, I, «Significato e verificazione»; traduzione della redazione dall'inglese)
>
> La finzione di un linguaggio ideale costruito con enunciati atomici puri è metafisica quanto la finzione del demone di Laplace. [...] Non c'è modo di porre come punto di partenza delle scienze enunciati protocollari puri, definitivamente accertati. Non esiste una *tabula rasa*. Siamo come navigatori che devono ricostruire la loro nave in mare aperto, senza poterla mai smontare in un bacino di carenaggio e ricostruirla con i pezzi migliori. Soltanto la metafisica può sparire senza lasciare traccia. Gli imprecisi «agglomerati» linguistici restano sempre, in un modo o nell'altro, parti della nave. [...] Il destino di essere scartato può toccare anche a un enunciato protocollare.
>
> (Neurath, *Enunciati protocollari*, 1932; traduzione della redazione dal tedesco)

1. Che cosa significa, per Schlick, «dare significato a una frase»? Quale ruolo hanno le «regole dell'uso»?
2. Riformula con parole tue la tesi finale di Schlick e applicala a un enunciato di tua scelta.
3. Che cosa rappresentano nell'immagine di Neurath la nave, il mare aperto e il bacino di carenaggio? Quale concezione della conoscenza viene respinta?
4. In che senso l'ultima frase di Neurath contraddice l'idea di Schlick che gli enunciati di osservazione siano un fondamento sicuro?
5. Confronta l'immagine della nave con quella delle palafitte di Popper: che cosa hanno in comune?

13.6.3 S1 · Popper: la falsificabilità come criterio di demarcazione

Nota introduttiva. Il primo capitolo della *Logica della scoperta scientifica* (1934, con la data 1935), intitolato «Considerazioni su alcuni problemi fondamentali», presenta in otto paragrafi il programma del libro. La scheda ne segue i §§ 1, 3, 4 e 6. L'opera è protetta dal diritto d'autore: ne ricostruiamo l'argomento con parole nostre.

1. **Il problema dell'induzione** (§ 1). Si dice di solito che le scienze empiriche procedono per induzione, passando da asserzioni singolari (resoconti di osservazioni) ad asserzioni universali (ipotesi, teorie). Ma un'inferenza di questo tipo non è mai giustificata logicamente: per quanti cigni bianchi si osservino, la conclusione che tutti i cigni sono bianchi può essere falsa. Un «principio di induzione» che la giustificasse dovrebbe essere a sua volta giustificato: o per induzione, con un regresso all'infinito, o a priori, come in Kant.

2. **Il controllo deduttivo delle teorie** (§ 3). Popper propone il metodo opposto: una teoria, ottenuta in qualunque modo (anche per intuizione), viene messa alla prova deducendone, insieme a condizioni iniziali, conseguenze singolari controllabili, specialmente quelle nuove e che altre teorie non prevedono. Se le conseguenze sono accettate, la teoria ha superato la prova per ora; se sono smentite, la teoria è falsificata.

3. **Il problema della demarcazione** (§ 4). Occorre un criterio per distinguere le scienze empiriche dalla matematica, dalla logica e dai sistemi metafisici. I positivisti lo cercano nella verificabilità; ma così escluderebbero dalla scienza le leggi di natura, che non si possono ridurre a un numero finito di asserzioni di osservazione. Il criterio va inteso come una *proposta*, una convenzione da giudicare per la sua utilità.

4. **Il criterio** (§ 6). Non si deve chiedere che un sistema scientifico possa essere dimostrato vero una volta per tutte, ma che la sua forma logica gli permetta di essere confutato dall'esperienza. Il criterio si fonda sull'asimmetria: le asserzioni universali non si ricavano mai da asserzioni singolari, ma possono essere contraddette da esse, con il modus tollens.

5. **Un'obiezione e la risposta** (§ 6). Si può sempre salvare una teoria dalla confutazione, per esempio con un'ipotesi ausiliaria introdotta solo a questo scopo. Popper lo ammette e risponde con una regola di metodo: chi fa scienza deve rinunciare a questi espedienti e cercare, anzi, le situazioni in cui la teoria rischia di più.

(Popper, *Logica della scoperta scientifica*, cap. I, §§ 1, 3, 4, 6; scheda di lettura della redazione)

1. Perché il problema dell'induzione non si risolve con un «principio di induzione»? Collega la risposta a Hume.
2. In che cosa il metodo del punto 2 è «deduttivo»? Da dove vengono, per Popper, le teorie?

3. Perché il criterio della verificabilità, secondo Popper, è troppo stretto? Che cosa ne pensavano i membri del Circolo (sezione sul Circolo di Vienna)?
4. Popper presenta il suo criterio come una «proposta». Che differenza c'è tra una proposta e una tesi sulla natura delle cose?

13.6.4 S2 · Kuhn: che cos'è un paradigma

Nota introduttiva. La struttura delle rivoluzioni scientifiche (1962) è un libro breve, in tredici capitoli, a cui Kuhn aggiunse una *Poscritta*, scritta nel 1969, per la seconda edizione (1970). La scheda segue la Prefazione e i capitoli II, IV, IX–X e la Poscritta. L'opera è protetta dal diritto d'autore: ne ricostruiamo l'argomento con parole nostre.

> 1. **L'origine dell'idea** (Prefazione). Un anno trascorso tra scienziati sociali colpì Kuhn per i loro disaccordi sui fondamenti, rari nelle scienze naturali. Cercandone la ragione arrivò al paradigma: risultati riconosciuti da tutti che per un certo tempo forniscono a una comunità problemi e soluzioni modello.
>
> 2. **Due caratteri** (cap. II). Opere come i *Principia* di Newton o la *Chimica* di Lavoisier divennero paradigmi perché avevano due caratteri: erano tanto nuove da attirare un gruppo di studiosi lontano dalle forme di ricerca rivali, e tanto aperte da lasciare a quel gruppo ogni genere di problemi da risolvere.
>
> 3. **La scienza normale come soluzione di rompicapi** (cap. IV). Dentro il paradigma il ricercatore non cerca novità e non mette in questione le regole: verifica la propria abilità nel risolvere problemi che hanno una soluzione garantita. Il fallimento ricade sullo scienziato, non sulla teoria.
>
> 4. **La rivoluzione come cambiamento di visione del mondo** (capp. IX–X). Quando il paradigma cambia, cambiano i problemi legittimi, i criteri delle soluzioni e il modo stesso di vedere i fenomeni, come in un mutamento di *Gestalt*. Il nuovo paradigma non si deduce dal vecchio; la scelta tra i due non si può decidere solo con la logica e con l'esperimento.
>
> 5. **Due sensi** (Poscritta). Kuhn distingue la *matrice disciplinare*, ciò che una comunità condivide, dagli *esemplari*, le soluzioni concrete su cui gli studenti si formano.
>
> (Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Prefazione, capp. II, IV, IX–X, Poscritta; scheda di lettura della redazione)

1. Perché, secondo Kuhn, nelle scienze naturali i disaccordi sui fondamenti sono più rari che nelle scienze sociali? Quale ruolo ha il paradigma?
2. Spiega i due caratteri del punto 2 con l'esempio della rivoluzione copernicana.
3. Perché nella scienza normale il fallimento «ricade sullo scienziato»? Che cosa avrebbe obiettato Popper? Il punto 4 rende irrazionale la scelta tra paradigmi?

SINTESI

- Tra Otto e Novecento le **geometrie non euclidee** (Lobačevskij, Bolyai, Riemann) sostituiscono il **quinto postulato**: nella geometria iperbolica per un punto passano infinite parallele e la somma degli angoli di un triangolo è minore di 180°; in quella ellittica non ci sono parallele e la somma è maggiore. Beltrami ne mostrò la coerenza con un modello.
- Con Hilbert (1899) nasce il **metodo assiomatico** moderno: gli assiomi sono punti di partenza che definiscono implicitamente i termini, non verità evidenti sullo spazio.
- Mach (1883) critica lo spazio e il tempo assoluti di Newton e vuole eliminare dalla scienza i concetti che non rimandano all'esperienza. Poincaré (1902) sostiene che gli assiomi geometrici sono **convenzioni**: una geometria non è più vera di un'altra, solo più comoda.
- La **relatività** di Einstein (1905, 1915) abolisce la simultaneità assoluta e descrive la gravità come curvatura dello spaziotempo; la **meccanica quantistica** (Planck 1900, Heisenberg 1927) pone il problema del determinismo; i **teoremi di Gödel** (1931) mostrano i limiti di ogni sistema formale che contenga l'aritmetica.
- Il **Circolo di Vienna** (Schlick, Neurath, Carnap; manifesto del 1929) fonda il neopositivismo: hanno senso solo gli enunciati analitici e quelli empiricamente verificabili. Per il **principio di verificazione** il significato di un enunciato è il metodo della sua verificazione.
- Gli enunciati metafisici sono, per il Circolo, privi di senso (Carnap contro Heidegger, 1932). Neurath sostiene che anche gli **enunciati protocollari** sono rivedibili (la nave ricostruita in mare aperto) e difende il fisicalismo e l'unità della scienza.
- Il principio di verificazione esclude le leggi universali e non soddisfa se stesso; Carnap lo indebolì in un criterio di confermabilità. Il nazismo disperse il Circolo; Schlick fu ucciso nel 1936.
- Popper (*Logica della scoperta scientifica*, 1934/1935) nega che la scienza proceda per induzione e propone la **falsificabilità** come criterio di **demarcazione** (non di significato), fondato sull'asimmetria logica del **modus tollens**. Le teorie sono congetture, mai verificate ma **corroborate** da controlli severi.
- L'eclissi del 1919 è per Popper il modello di un controllo rischioso, superato dalla relatività; marxismo e psicoanalisi, che «spiegano tutto», non sono scientifici. In *La società aperta e i suoi nemici* (1945) critica lo storicismo e le sue letture di Platone, Hegel e Marx, discusse dagli studiosi.
- Kuhn (*La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, 1962) descrive la storia della scienza come alternarsi di **scienza normale** dentro un **paradigma**, **anomalie**, crisi e **rivoluzioni**; i paradigmi sono **incommensurabili**, ma la scelta tra essi è guidata da valori condivisi.
- Lakatos valuta **programmi di ricerca** (nucleo e cintura protettiva), progressivi o regressivi; Feyerabend sostiene l'**anarchismo metodologico**: nessuna regola vale sempre, e «*anything goes*» è la conclusione paradossale di chi cerca un metodo universale.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Il quinto postulato di Euclide, nella forma usata dai manuali dell'Ottocento, afferma che:
   - **A.** per due punti passa una sola retta
   - **B.** tutti gli angoli retti sono uguali
   - **C.** per un punto esterno a una retta passa una e una sola parallela a essa
   - **D.** la somma degli angoli di un triangolo è sempre maggiore di 180°

2. ● Nella geometria iperbolica di Lobačevskij e Bolyai la somma degli angoli di un triangolo è:
   - **A.** minore di 180°, e la differenza cresce con l'area del triangolo
   - **B.** sempre uguale a 180°
   - **C.** maggiore di 180°, come sulla sfera
   - **D.** uguale a 270° per ogni triangolo

3. ●● Secondo Poincaré gli assiomi della geometria sono:
   - **A.** giudizi sintetici a priori, come aveva detto Kant
   - **B.** generalizzazioni di misure fatte sui corpi solidi
   - **C.** verità rivelate dall'intuizione dello spazio
   - **D.** convenzioni, guidate dall'esperienza ma limitate solo dalla non contraddizione

4. ●● Mach criticò lo spazio assoluto di Newton perché:
   - **A.** contraddiceva la geometria di Riemann
   - **B.** non rimanda ad alcuna esperienza possibile: l'esperimento del secchio mostra solo una rotazione relativa
   - **C.** era stato smentito dall'eclissi del 1919
   - **D.** impediva di spiegare il moto dei pianeti

5. ●● Quale affermazione sui teoremi di Gödel (1931) è corretta?
   - **A.** dimostrano che l'aritmetica è contraddittoria
   - **B.** mostrano che ogni enunciato matematico è indimostrabile
   - **C.** stabiliscono che la verità matematica dipende dall'osservatore
   - **D.** un sistema formale coerente che esprime l'aritmetica contiene enunciati che non può né dimostrare né confutare

6. ● Per il principio di verificazione del Circolo di Vienna, l'enunciato «l'assoluto si realizza nella storia» è:
   - **A.** privo di senso, perché non è analitico né verificabile
   - **B.** falso, perché smentito dai fatti
   - **C.** analitico, perché vero per definizione
   - **D.** empirico e vero

7. ●● Con l'immagine della nave ricostruita in mare aperto Neurath sostiene che:
   A. la scienza deve ripartire da zero dopo ogni rivoluzione
   B. la metafisica è indispensabile come chiglia della scienza
   C. non esistono enunciati di base definitivamente certi: la conoscenza si corregge dall'interno
   D. gli enunciati protocollari sono il fondamento sicuro di tutta la scienza

8. ●● Per Popper una teoria è scientifica se:
   A. è stata verificata da molte osservazioni
   B. è possibile indicare osservazioni che la smentirebbero
   C. è accettata dalla maggioranza degli scienziati
   D. spiega ogni fenomeno del suo campo senza eccezioni

9. ●● Secondo Kuhn, nella scienza normale gli scienziati:
   A. cercano soprattutto di confutare le teorie accettate
   B. discutono continuamente i fondamenti della disciplina
   C. scelgono le teorie applicando un algoritmo di valutazione
   D. risolvono rompicapi dentro un paradigma che non mettono in discussione

10. ●●● Per Lakatos un programma di ricerca è progressivo quando:
    A. le modifiche della cintura protettiva portano a prevedere fatti nuovi, alcuni dei quali confermati
    B. non ha mai incontrato anomalie
    C. modifica il proprio nucleo ogni volta che una previsione fallisce
    D. è sostenuto dal maggior numero di ricercatori

Il lessico filosofico

11. ● Completa. Per il Circolo di Vienna un enunciato ha senso se è _____ oppure empiricamente _____ . Per Popper una teoria è scientifica se è _____ ; se supera controlli severi non è verificata ma _____ .

12. ●● Distingui **verificazione** e **falsificazione**: che cosa si cerca nell'una e nell'altra, e perché tra le due c'è un'asimmetria logica? Fai un esempio.

13. ●● Collega ciascun termine all'autore e alla definizione: (1) convenzione, (2) enunciato protocollare, (3) paradigma, (4) cintura protettiva; autori: Lakatos, Kuhn, Poincaré, Neurath; definizioni: (a) frase che registra un'osservazione, con osservatore, tempo e luogo; (b) insieme di ipotesi ausiliarie che si modificano per assorbire le anomalie; (c) principio scelto liberamente, guidato dall'esperienza, non vero né falso in sé; (d) risultato esemplare che fornisce a una comunità problemi e soluzioni modello.

14. ●● Spiega che cosa significa «**incommensurabilità**» in Kuhn e perché non equivale a «irrazionalità».

15. ●●● Il termine «**rivoluzione scientifica**» indica in *Filosofia 4* (capitolo 3) la trasformazione del sapere tra Cinque e Seicento, in Kuhn un momento ricorrente della storia di ogni scienza. Spiega la differenza e mostra perché la rivoluzione copernicana rientra in entrambi i significati.

Leggere i testi

16. ● (T1) Elenca le tre risposte possibili alla domanda «che cosa sono gli assiomi della geometria?» che Poincaré considera e indica quali respinge e perché.

17. ●● (T1) Poincaré scrive che la differenza tra la somma degli angoli e 180° «è proporzionale alla superficie del triangolo». Usa questa idea e l'esempio svolto sulla sfera per spiegare perché misure su piccola scala non permettono di decidere quale geometria valga.

18. ●● (T2) Schlick identifica la domanda «che cosa significa questo enunciato?» con la domanda «come si verifica?». Applica questa tesi a «domani a Roma pioverà» e a «l'anima del mondo è eterna».

19. ●● (T2) Perché, secondo Neurath, la finzione di un linguaggio fatto di enunciati atomici puri è «metafisica quanto il demone di Laplace»?

20. ●● (S1) Ricostruisci in tre passaggi il «controllo deduttivo» di una teoria secondo Popper, applicandolo alla relatività generale e all'eclissi del 1919.

21. ●●● Leggi questo passo di Poincaré, dal capitolo IX della stessa opera, *Le ipotesi in fisica*: «Lo scienziato deve ordinare; si fa la scienza con i fatti come una casa con le pietre; ma un accumulo di fatti non è una scienza più di quanto un mucchio di pietre sia una casa» (traduzione della redazione). Quale concezione della scienza critica Poincaré? Con quale autore del capitolo è d'accordo, e perché?

Argomentare

22. ●● **Mappa dell'argomento.** Ricostruisci in premesse e conclusione l'argomento di Poincaré contro la tesi kantiana: «Se gli assiomi della geometria fossero giudizi sintetici a priori, non si potrebbe costruire una geometria coerente che li neghi; ma le geometrie di Lobačevskij e di Riemann sono coerenti; dunque…». Di che forma logica si tratta? Quale premessa un kantiano potrebbe contestare?

23. ●● Trova la premessa implicita: «Questa teoria è stata confermata da migliaia di osservazioni, quindi è vera». Perché per Popper l'argomento non è valido? Riformulalo in una forma che egli accetterebbe.

24. ●●● Il principio di verificazione afferma: «un enunciato ha senso solo se è analitico o empiricamente verificabile». Mostra perché, applicato a se stesso, sembra privo di senso, e valuta due risposte possibili del Circolo.

25. ●●● Valuta l'argomento: «Le leggi di Newton sono state smentite dal perielio di Mercurio già nel 1859; gli scienziati però le hanno conservate fino al 1915; dunque gli scienziati non si comportano come vorrebbe Popper e la scienza è irrazionale». Quali premesse accetterebbero Kuhn e Lakatos? Quale conclusione trarrebbe Lakatos?

Confrontare e collegare

26. ●● **Popper e Kuhn.** Confronta le loro risposte a tre domande: come si comporta lo scienziato davanti a una teoria accettata? che cosa accade quando un esperimento smentisce una previsione? la scienza progredisce verso la verità?

27. ●● **Cronologia.** Metti in ordine cronologico e data: il manifesto del Circolo di Vienna; *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*; i teoremi di incompletezza; *La scienza e l'ipotesi*; l'eclissi che corroborò la relatività generale; *Contro il metodo*; i *Fondamenti della geometria* di Hilbert; *La società aperta e i suoi nemici*.

28. ●●● **Collegare.** Nel 1872 Nietzsche vedeva nella scienza moderna l'erede dell'ottimismo socratico (capitolo 7), e nel capitolo 5 hai studiato la fiducia positivista nel progresso del sapere. Spiega come le tesi di Kuhn e di Feyerabend mettano in discussione questa fiducia, e se a tuo giudizio la mettano in crisi del tutto.

Verso l'esame

29. ●● **Dal documento al colloquio.** Spunto: la frase di Einstein «Nella misura in cui le proposizioni della matematica si riferiscono alla realtà, non sono certe; e nella misura in cui sono certe, non si riferiscono alla realtà» (*Geometria ed esperienza*, 1921; traduzione della redazione). Progetta un percorso orale di 4–5 minuti: l'autore e il concetto, due collegamenti con altre discipline del quinto anno, un collegamento con l'educazione civica, un tuo giudizio personale.

30. ●● **Dal documento al colloquio.** Spunto: una tabella. «Previsioni della deviazione della luce stellare al bordo del Sole: fisica di Newton, circa 0,87 secondi d'arco; relatività generale, circa 1,75 secondi d'arco. Eclissi del 29 maggio 1919: osservazioni a Sobral e Príncipe.» Progetta un percorso orale di 4–5 minuti con le stesse indicazioni dell'esercizio precedente.

31. ●●● **Trattazione sintetica** (12–15 righe). Illustra il criterio di falsificabilità di Popper: il problema dell'induzione, l'asimmetria tra verificazione e falsificazione, la differenza rispetto al principio di verificazione del Circolo di Vienna, un esempio.

32. ●●● **Riflessione critica** (scaletta). «Se la scienza non dà mai certezze definitive, perché dovremmo fidarci degli scienziati più che di chiunque altro?» Prepara la scaletta di un testo argomentativo: tesi, due argomenti, un'obiezione con la tua replica, conclusione. Usa almeno due autori del capitolo.

PER APPROFONDIRE

- [GIL] D. Gillies, G. Giorello, *La filosofia della scienza nel XX secolo*: un'introduzione chiara ai temi del capitolo, dal convenzionalismo e dal Circolo di Vienna a Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend.
- [GEY] L. Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*: i volumi sul Novecento, per le geometrie non euclidee, la crisi dei fondamenti e la fisica di Einstein e dei quanti nel loro contesto filosofico.
- [REA] G. Reale, D. Antiseri, *Il pensiero occidentale dalle origini ad oggi*: i capitoli sul neopositivismo, su Popper e sull'epistemologia post-popperiana.

Glossario del capitolo

Anarchismo metodologico
In Feyerabend, la tesi che nessuna regola di metodo valga in ogni circostanza e che la proliferazione di teorie alternative favorisca la conoscenza («*anything goes*»).

Anomalia
In Kuhn, risultato che non torna con le attese del paradigma; se le anomalie si accumulano, si apre una crisi.

Convenzionalismo (in Poincaré)
In Poincaré, la tesi che alcuni principi della scienza, come gli assiomi della geometria, non siano né verità a priori né fatti d'esperienza, ma convenzioni scelte per semplicità e comodità.

Corroborazione
In Popper, il grado in cui una teoria ha superato controlli severi che avrebbero potuto smentirla; non equivale a verificazione.

Criterio di demarcazione
Criterio per distinguere la scienza empirica dalla logica e dalla matematica, dalla metafisica e dalle pseudoscienze; per Popper è la falsificabilità.

Enunciato protocollare
Nel Circolo di Vienna, enunciato che registra un'osservazione; per Schlick fondamento sicuro, per Neurath rivedibile come ogni altro enunciato.

Falsificabilità
In Popper, proprietà di una teoria che vieta alcuni eventi osservabili e può dunque essere smentita dall'esperienza; criterio di scientificità.

Fisicalismo
Tesi di Neurath e Carnap: tutti gli enunciati delle scienze si possono formulare in un unico linguaggio che parla di oggetti e processi nello spazio e nel tempo.

Geometria non euclidea
Sistema geometrico coerente che sostituisce il quinto postulato di Euclide: iperbolico (infinite parallele) o ellittico (nessuna parallela).

Incommensurabilità
In Kuhn, mancanza di una misura comune tra paradigmi successivi, che cambiano i significati dei termini, i problemi e i criteri delle soluzioni.

Ipotesi ad hoc
Ipotesi introdotta solo per salvare una teoria da una confutazione, senza conseguenze controllabili indipendenti.

Metodo assiomatico
Costruzione di una teoria a partire da assiomi espliciti, che definiscono implicitamente i termini primitivi, e dalle loro conseguenze logiche (Hilbert, 1899).

Modus tollens
Inferenza valida: da «se A, allora B» e «non B» si conclude «non A»; per Popper è la forma logica della falsificazione.

Neopositivismo
Filosofia del Circolo di Vienna, detta anche empirismo logico: ogni conoscenza del mondo viene dall'esperienza, la logica e la matematica sono analitiche, la metafisica è priva di senso.

Paradigma
In Kuhn, risultato scientifico esemplare che fornisce a una comunità problemi e soluzioni modello; nella *Poscritta* del 1969, matrice disciplinare ed esemplari.

Principio di verificazione
Nel Circolo di Vienna, il criterio secondo cui il significato di un enunciato empirico è il metodo della sua verificazione.

Programma di ricerca
In Lakatos, serie di teorie con un nucleo comune protetto e una cintura di ipotesi ausiliarie; è progressivo se prevede fatti nuovi, regressivo se si limita ad aggiustamenti.

Rivoluzione scientifica (in Kuhn)
Passaggio di una comunità scientifica da un paradigma a un altro, incompatibile con il primo, al termine di una crisi.

Scienza normale
In Kuhn, la ricerca che si svolge dentro un paradigma accettato e consiste nel risolvere rompicapi.

Teoremi di incompletezza
Risultati di Gödel (1931): un sistema formale coerente che esprime l'aritmetica contiene enunciati indecidibili e non può dimostrare la propria coerenza.

Soluzioni

1. C. È la formulazione equivalente al postulato di Euclide (sezione sulle geometrie non euclidee). A è il primo postulato, B il quarto.

2. A. Nella geometria iperbolica la somma è minore di 180° e il difetto è proporzionale all'area (Figura 13.2); C vale per la geometria ellittica.

3. D. Poincaré esclude sia il sintetico a priori (A) sia l'origine sperimentale (B): gli assiomi sono convenzioni, «definizioni mascherate» (T1).

4. B. Per Mach il secchio mostra solo una rotazione rispetto alla Terra e alle stelle fisse; uno spazio inosservabile esce dalla scienza. C è anacronistica (1919).

5. D. È il primo teorema di incompletezza, detto in modo informale; le altre risposte sono letture sbagliate (box «Che cosa Gödel non ha dimostrato»).

6. A. Non è vero per definizione né controllabile con osservazioni: per il Circolo è uno pseudo-enunciato, non un enunciato falso (Figura 13.3).

7. C. Nessun enunciato, neppure protocollare, è definitivamente accertato: la nave si ripara in navigazione (T2). D è la posizione di Schlick.

8. B. È il criterio di falsificabilità; A è la verificazione che Popper respinge, D descrive proprio le teorie che egli considera non scientifiche.

9. D. La scienza normale è soluzione di rompicapi dentro il paradigma (S2); A è la posizione di Popper, B descrive la crisi.

10. A. Un programma progressivo prevede fatti nuovi, come Nettuno nel 1846; C viola l'euristica negativa, che protegge il nucleo.

11. analitico; verificabile; falsificabile; corroborata. (Sezioni sul Circolo e su Popper.)

12. Verificare = mostrare che un enunciato è vero con l'osservazione; falsificare = mostrarne la falsità. Asimmetria: un enunciato universale non si dimostra con nessun numero finito di casi (affermazione del conseguente, non valida), ma un solo caso contrario lo confuta (modus tollens, valido). Esempio: i cigni bianchi e il cigno nero (Figura 13.4).

13. (1) Poincaré, c; (2) Neurath, a; (3) Kuhn, d; (4) Lakatos, b.

14. Paradigmi incommensurabili: senza una misura comune, perché cambiano i significati dei termini («pianeta», «massa»), i problemi rilevanti e i criteri delle soluzioni. Non irrazionalità: la scelta è guidata da valori condivisi (precisione, coerenza, ampiezza, semplicità, fecondità), che però non funzionano come un algoritmo (sezione su Kuhn, box «Errore frequente»).

15. Traccia: 1) senso storiografico: un processo unico, da Copernico a Newton, che fonda la scienza moderna; 2) senso di Kuhn: ogni passaggio da un paradigma a un altro, in qualunque disciplina e epoca (anche Lavoisier, Einstein); 3) la rivoluzione copernicana fa parte del primo processo ed è il caso esemplare del secondo (anomalie dell'astronomia tolemaica, crisi, nuovo paradigma, cambiamento del significato di «pianeta»).

16. Giudizi sintetici a priori (respinti: non esisterebbero geometrie non euclidee); verità sperimentali (respinte: non si sperimenta su enti ideali e la geometria sarebbe inesatta e già falsificata); convenzioni (accettate).

17. Il difetto (o l'eccesso) è proporzionale all'area: per triangoli piccoli rispetto alla curvatura dello spazio è minimo (sulla Terra, un triangolo di 1 km^2 ha un eccesso di circa 0,000 001 4°), al di sotto degli errori di misura; solo triangoli enormi o misure molto precise mostrerebbero la differenza.

18. Primo enunciato: so quali osservazioni lo renderebbero vero o falso (guardare il cielo di Roma domani): ha significato. Secondo: non si può indicare alcuna osservazione che lo verifichi o lo smentisca;

non è analitico; per Schlick è privo di significato (non falso).

19. Entrambe sono idealizzazioni che nessuno può possedere né controllare: un linguaggio perfettamente preciso, svincolato da ogni imprecisione del linguaggio comune, è inaccessibile come la conoscenza totale dell'universo. Usarle come fondamento significa appoggiarsi a qualcosa che sta oltre l'esperienza, cioè fare metafisica.

20. 1) Teoria + condizioni iniziali (posizione delle stelle, eclissi del 29 maggio 1919); 2) deduzione di una conseguenza nuova e rischiosa (la luce stellare devia vicino al Sole del doppio rispetto al valore newtoniano); 3) confronto con le osservazioni (fotografie di Príncipe e Sobral): la previsione non fu smentita, la teoria fu corroborata, non verificata.

21. Critica l'idea (positivista e induttivista) che la scienza sia un accumulo di osservazioni. Le pietre devono essere ordinate da un progetto: le ipotesi e le teorie. Accordo con Popper (le teorie non si ricavano dai fatti, sono congetture che li organizzano) e, in parte, con Kuhn (i fatti sono rilevanti dentro un paradigma).

22. P1: se A sono sintetici a priori, non è possibile una geometria coerente che li neghi; P2: esistono geometrie coerenti che negano il quinto postulato (Beltrami); C: gli assiomi non sono sintetici a priori. Forma: modus tollens (valido). Un kantiano potrebbe contestare P1: la necessità kantiana riguarda la forma della nostra intuizione, non la coerenza logica; pensare una geometria non euclidea non significa poterla intuire.

23. Premessa implicita: «una teoria confermata da molti casi è vera» (principio di induzione). Non valido: affermazione del conseguente; il caso successivo potrebbe smentirla (cigni). Forma accettabile: «la teoria ha superato molti controlli severi che avrebbero potuto smentirla; dunque è corroborata e, per ora, preferibile alle rivali».

24. Il principio non è vero per definizione (non analitico) né verificabile con osservazioni: dunque, per il suo stesso criterio, è privo di senso. Risposte: 1) presentarlo come proposta o convenzione su come usare il linguaggio scientifico (Carnap), da giudicare per i frutti: coerente ma rinuncia a dire che la metafisica è «falsa» in senso forte; 2) considerarlo una definizione analitica di «senso cognitivo»: ma allora chi non accetta la definizione non è confutato. Il punto mostra che il criterio non si giustifica da sé.

25. Kuhn accetterebbe le premesse storiche: gli scienziati non abbandonano un paradigma per un'anomalia, ma ciò non prova l'irrazionalità (valori condivisi). Lakatos accetterebbe che il falsificazionismo ingenuo non descrive la storia, ma negherebbe la conclusione: era razionale conservare un programma che, con Nettuno, si era mostrato progressivo; diventa razionale abbandonarlo quando esiste un rivale progressivo (relatività generale, 1915). Conclusione: la razionalità si valuta tra programmi nel tempo.

26. Traccia: 1) Popper: deve cercare di confutarla; Kuhn: nella scienza normale la applica e la estende senza criticarla. 2) Popper: la teoria è falsificata (salvo regole contro le ipotesi ad hoc); Kuhn: è un'anomalia, di solito accantonata, che solo accumulandosi porta alla crisi. 3) Popper: sì, per approssimazione e correzione degli errori; Kuhn: progresso nella capacità di risolvere problemi, non verso una verità fissata. Sezioni su Popper e su Kuhn.

27. Hilbert, *Fondamenti della geometria* (1899); Poincaré, *La scienza e l'ipotesi* (1902); eclissi (1919); manifesto del Circolo (1929); Gödel (1931); Popper, *La società aperta* (1945); Kuhn, *Struttura* (1962); Feyerabend, *Contro il metodo* (1975). (Figura 13.1.)

28. Traccia: 1) Positivismo: la scienza accumula leggi certe e guida il progresso sociale (Comte); 2) Kuhn: la scienza procede per rivoluzioni, i paradigmi sono incommensurabili, il progresso non è avvicinamento a una verità fissa; 3) Feyerabend: nessun metodo universale, pluralismo; 4) giudizio: entrambi rivedono l'immagine della scienza, ma Kuhn conserva l'idea di un progresso nella soluzione dei problemi; la fiducia diventa critica e storicamente consapevole, non cieca.

29. *Percorso modello* (altri percorsi sono validi). Le geometrie non euclidee e il metodo assiomatico: la geometria come sistema coerente (Hilbert) e come

ipotesi sul mondo fisico; Poincaré e le convenzioni; la relatività generale, che usa la geometria di Riemann (sezioni sulle scienze tra Otto e Novecento e sulla fisica del Novecento). Matematica: gli assiomi e la dimostrazione; Fisica: lo spaziotempo curvo e l'eclissi del 1919. Educazione civica: l'art. 33 della Costituzione («L'arte e la scienza sono libere e libero ne è l'insegnamento») e il valore pubblico della ricerca. Giudizio: la frase non svaluta la matematica, ma distingue la certezza logica dalla verità empirica.

30. *Percorso modello* (altri percorsi sono validi). Popper: la previsione rischiosa (la relatività prevede un valore doppio rispetto a Newton) e il criterio di falsificabilità; corroborazione, non verificazione; il confronto con le teorie che «spiegano tutto» (sezione su Popper). Fisica: la relatività generale e la curvatura dello spaziotempo; Storia: il valore simbolico, subito dopo la prima guerra mondiale, di una spedizione britannica che confermava la teoria di un fisico che lavorava a Berlino, mentre gli scienziati tedeschi erano esclusi dalle organizzazioni scientifiche internazionali. Educazione civica: la libertà della ricerca (art. 33) e l'uso critico delle fonti di informazione scientifica. Giudizio: la disponibilità a essere smentiti come virtù intellettuale e civica.

31. *Traccia.* 1) Hume: l'induzione non è giustificabile; le teorie sono congetture. 2) Asimmetria: nessun numero di conferme verifica una legge universale, un solo controesempio la confuta (modus tollens; Figura 13.4). 3) La falsificabilità è un criterio di demarcazione tra scienza e non-scienza, non di significato: la metafisica non è priva di senso. 4) Esempio: la relatività e l'eclissi del 1919 contro la psicologia di Adler. 5) Corroborazione e regola contro le ipotesi ad hoc.

32. *Traccia.* Tesi possibile: la fiducia nella scienza non nasce dalla certezza, ma dal metodo con cui gli errori vengono scoperti e corretti. Argomento 1 (Popper): le teorie scientifiche si espongono alla smentita e sopravvivono a controlli severi, a differenza delle opinioni che non rischiano nulla. Argomento 2 (Kuhn, Lakatos): le conclusioni scientifiche sono il risultato del lavoro critico di comunità competenti e di programmi che hanno fatto previsioni confermate. Obiezione (Feyerabend): la scienza non ha un metodo privilegiato e la sua autorità può soffocare altre tradizioni. Replica: il pluralismo è utile dentro la ricerca, ma non rende equivalenti teorie che hanno superato controlli e teorie che non ne hanno superato nessuno. Conclusione: fiducia critica, non fede.