

La Frattura Epistemologica

tra Scienza, Formazione e Divulgazione

Sul tradimento metodologico nella comunicazione della conoscenza scientifica

Saggio di Epistemologia della Scienza

Gennaio 2026

ABSTRACT

La presente monografia si propone di analizzare la frattura strutturale tra la pratica scientifica rigorosa, la formazione accademica e la divulgazione pubblica della scienza, configurando tale fenomeno come un tradimento metodologico che altera la natura epistemica della conoscenza scientifica. Attraverso un'analisi interdisciplinare che integra epistemologia, sociologia della conoscenza e studi sulla comunicazione scientifica, l'opera documenta come la trasformazione di inferenze probabilistiche in asserti categorici, l'occultamento delle premesse condizionali e la confusione tra osservazione e interpretazione costituiscano non meri difetti comunicativi, ma una mutazione ontologica della scienza stessa.

La ricerca si articola in tre parti. La prima analizza il tradimento linguistico e metodologico operato dalla divulgazione, evidenziando il passaggio dal condizionale epistemico all'indicativo categorico e la conseguente eliminazione dei marcatori di incertezza. La seconda parte esamina le implicazioni epistemologiche di tale frattura, contestualizzando il fenomeno nell'ambito del dibattito tra falsificazionismo popperiano e sociologia della conoscenza kuhniana, oltre che negli sviluppi della Science and Technology Studies (STS). La terza parte affronta le conseguenze sistemiche, dalla persistenza del modello del deficit nella comunicazione pubblica alla crisi dell'expertise, fino alle implicazioni per la formazione scientifica contemporanea.

L'analisi si fonda su un corpus significativo di letteratura accademica peer-reviewed, integrando contributi provenienti dalla filosofia della scienza, dalla psicologia cognitiva della comunicazione dell'incertezza, dalla sociologia della conoscenza scientifica e dagli studi empirici sull'impatto della comunicazione dell'incertezza sulla fiducia pubblica. Particolare attenzione viene dedicata alle ricerche recenti sulla comunicazione dell'incertezza epistemica, che dimostrano come l'assunto secondo cui la trasparenza sull'incertezza minerebbe la fiducia pubblica sia empiricamente infondato.

La tesi centrale sostiene che la frattura epistemologica non rappresenti un problema meramente comunicativo, ma configuri una crisi sistemica in cui la scienza rischia di trasformarsi da pratica fondata sulla fallibilità metodica a nuovo sistema di ortodossia. L'opera conclude proponendo un ripensamento radicale tanto della formazione quanto della divulgazione scientifica, orientato verso un'epistemologia dell'umiltà che riconosca esplicitamente la natura ipotetico-deduttiva, condizionale e fallibile della conoscenza scientifica.

PARTE PRIMA

Il Tradimento Linguistico: Dall'Umiltà Epistemica all'Arroganza Categorica

CAPITOLO 1

La Trasformazione Sintattica della Conoscenza Scientifica

La comunicazione della scienza opera sistematicamente una conversione sintattica che stravolge la natura epistemica delle affermazioni scientifiche. Studi recenti nel campo della *science communication* hanno documentato come il passaggio dal contesto di ricerca al contesto divulgativo comporti una progressiva eliminazione dei marcatori linguistici di incertezza¹. L'uso dell'indicativo presente al posto delle forme condizionali e modali non costituisce una mera semplificazione stilistica, ma opera una mutazione ontologica dell'affermazione: da ipotesi funzionale condizionata a verità assertorica.

Questa trasformazione può essere analizzata attraverso la distinzione proposta da Hans Reichenbach tra *contesto della scoperta* e *contesto della giustificazione*². Mentre il contesto della giustificazione scientifica mantiene la consapevolezza della natura condizionale delle affermazioni, il passaggio al contesto comunicativo pubblico tende a cancellare tale condizionalità, presentando le conclusioni scientifiche come verità incontrovertibili.

La linguistica cognitiva ha dimostrato come le scelte grammaticali influenzino profondamente la percezione epistemica degli enunciati³. L'uso del modo indicativo attiva *frame* cognitivi di certezza e fattualità, mentre il condizionale e il congiuntivo attivano *frame* di possibilità e contingenza. La sistematica preferenza divulgativa per l'indicativo genera quindi nel pubblico una rappresentazione cognitiva della scienza come sistema di verità assolute, tradendo la natura intrinsecamente ipotetica del sapere scientifico.

La catena delle premesse occulte

Ogni affermazione scientifica si regge su una catena di premesse che raramente vengono esplicitate nella comunicazione divulgativa. Si consideri, a titolo esemplificativo, il caso paradigmatico della nucleosintesi stellare e della formazione degli elementi pesanti attraverso le kilonove. L'affermazione finale – che l'oro terrestre proverrebbe dalla collisione di stelle di neutroni – dipende da una sequenza articolata di condizionali:

1. Se la Relatività Generale descrive correttamente la gravitazione su grande scala;
2. Se la Meccanica Quantistica descrive accuratamente il comportamento dei neutroni a densità estreme;
3. Se l'interpretazione spettroscopica è universale e non influenzata da fenomeni ignoti nello spazio intergalattico;

¹Van der Bles, A. M., van der Linden, S., Freeman, A. L. J., Mitchell, J., Galvao, A. B., Zaval, L., & Spiegelhalter, D. J. (2019). Communicating uncertainty about facts, numbers and science. *Royal Society Open Science*, 6(5), 181870.

²Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. University of Chicago Press.

³Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press.

4. Allora l'evento GW170817⁴ può essere interpretato come collisione di stelle di neutroni produttrici di elementi pesanti.

La divulgazione elimina sistematicamente questa struttura condizionale, presentando la conclusione come fatto autoevidente. Tale operazione configura quello che potrebbe definirsi un *occultamento epistemologico*: la natura ipotetico-deduttiva della scienza viene mascherata, sostituita da una narrazione di scoperta e rivelazione che mima la struttura della verità rivelata religiosa.

L'economia della certezza e le logiche di mercato della comunicazione

Il fenomeno descritto non è casuale, ma risponde a logiche economiche e comunicative precise. La necessità di «vendere la scoperta della Verità» spinge l'intera filiera comunicativa verso l'assertività. La divulgazione scientifica opera in un mercato dell'attenzione dove l'incertezza epistemica è percepita come debolezza comunicativa. Il condizionale riduce l'impatto mediatico, e il pubblico premia la narrazione di scoperta definitiva rispetto al resoconto di avanzamento probabilistico.

Questa dinamica genera un paradosso: la scienza, unica forma di conoscenza fondata sulla propria fallibilità secondo il criterio popperiano⁵, viene comunicata come sistema di verità infallibili, tradendo così il proprio fondamento metodologico. La comunicazione della scienza assume paradossalmente i connotati della comunicazione religiosa, sostituendo la fede nella rivelazione divina con la fede nell'autorità scientifica.

Recenti studi empirici hanno dimostrato che tale assunto — secondo cui la comunicazione dell'incertezza minerebbe necessariamente la fiducia pubblica — è largamente infondato. Una meta-analisi condotta su 48 studi sperimentali ha evidenziato che la comunicazione dell'incertezza tecnica (sotto forma di intervalli di errore quantificati) produce effetti positivi o neutri sulla credibilità percepita, mentre solo l'incertezza presentata come disaccordo scientifico produce effetti negativi⁶.

Analogamente, una ricerca pubblicata sui *Proceedings of the National Academy of Sciences* ha dimostrato che la comunicazione dell'incertezza numerica non esercita effetti significativamente negativi sulla fiducia, contrariamente all'assunto diffuso tra gli scienziati⁷. Ciò suggerisce che la resistenza alla comunicazione esplicita dell'incertezza derivi più da euristiche cognitive degli stessi comunicatori scientifici che da evidenze empiriche sulla risposta del pubblico.

⁴Abbott, B. P., et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). (2017). GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral. *Physical Review Letters*, 119(16), 161101.

⁵Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.

⁶Gustafson, A., & Rice, R. E. (2020). A review of the effects of uncertainty in public science communication. *Public Understanding of Science*, 29(6), 614-633.

⁷Van der Bles, A. M., van der Linden, S., Freeman, A. L. J., & Spiegelhalter, D. J. (2020). The effects of communicating uncertainty on public trust in facts and numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(14), 7672-7683.

CAPITOLO 2

La Confusione tra Fatto e Inferenza: Il Caso dell'Evidenza Empirica

Una delle acquisizioni epistemologiche più rilevanti della filosofia della scienza contemporanea riguarda la natura relazionale dell'evidenza empirica. Contrariamente alla concezione positivista ingenua, l'evidenza non costituisce un *datum* pre-esistente e neutrale, bensì emerge dalla *relazione* tra sistema osservante e sistema osservato. Questa prospettiva dissolve l'illusione della neutralità dell'osservatore e rivela come ogni «dato» sia in realtà un *capto* — qualcosa che viene afferrato attraverso strumenti teorici e sperimentali già carichi di assunzioni.

Tale concezione trova radici nella tradizione ermeneutica e nella fenomenologia, ma acquista particolare rilevanza nella sociologia della conoscenza scientifica. Come evidenziato dagli studi etnografici di laboratorio condotti da Latour e Woolgar, la produzione di fatti scientifici è un processo di costruzione sociale che coinvolge la trasformazione di enunciati provvisori e circostanziati in affermazioni presentate come oggettive e acontestuali⁸.

La taratura degli strumenti come profezia autoverificantesi

Gli strumenti sperimentali non sono finestre neutre sulla realtà, ma dispositivi *tarati* per confermare pattern attesi. Quando si costruisce uno strumento — che sia un acceleratore di particelle, un telescopio o un sensore termico — lo si progetta basandosi sulle equazioni che già si conoscono. Tarare uno strumento significa, in essenza, programmare ciò che deve essere considerato segnale vero, relegando tutto ciò che non rientra in tale pattern alla categoria di «errore», «disturbo» o «rumore».

Questa taratura configura un meccanismo epistemologico paradossale: lo strumento restituisce esattamente ciò che è stato programmato a cercare, mentre ciò che viene classificato come «rumore di fondo» potrebbe contenere informazioni rilevanti per paradigmi alternativi. La formazione scientifica raramente esplicita questo aspetto, presentando invece gli strumenti come dispositivi oggettivi di misurazione. L'assenza di questa consapevolezza critica genera scienziati incapaci di riconoscere i limiti paradigmatici della propria strumentazione.

Il concetto di *theory-ladenness* dell'osservazione, introdotto da Norwood Russell Hanson e sviluppato da Thomas Kuhn⁹, evidenzia come ciò che uno scienziato osserva sia significativamente influenzato dalle sue convinzioni teoriche pregresse. Scienziati operanti entro paradigmi differenti possono letteralmente «vedere» fenomeni diversi osservando gli stessi dati sperimentali. Questa incommensurabilità paradigmatica solleva questioni fondamentali sulla presunta oggettività dell'evidenza empirica.

⁸Latour, B., & Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts* (2nd ed.). Princeton University Press.

⁹Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.

Distinzione metodologica tra osservazione e interpretazione

La formazione scientifica dovrebbe instillare una distinzione metodologica fondamentale, spesso obli-
terata nella didattica standard:

Fatti (Osservazioni): Dati empirici effettivamente misurati – vibrazione dello spazio-tempo rilevata da LIGO, spettro luminoso registrato da telescopi, pattern di diffrazione osservati in cristallografia a raggi X.

Inferenze (Modello): Interpretazione teorica di tali dati – «questi dati sono causati dalla collisione di due stelle di neutroni», «questo pattern indica la presenza di una proteina con struttura α -elicoidale».

La divulgazione tende a collassare questa distinzione, presentando l'inferenza come se fosse il fatto stesso. Questa confusione genera nel pubblico l'illusione che la scienza «veda» direttamente fenomeni quali stelle di neutroni, buchi neri, particelle subatomiche, quando in realtà costruisce modelli interpretativi di segnali strumentali. La differenza non è meramente semantica: riconoscere tale distinzione significa riconoscere la natura ipotetica e provvisoria di ogni affermazione scientifica.

Il programma forte della sociologia della conoscenza scientifica, sviluppato dalla Edinburgh School¹⁰, ha evidenziato come tutti i tipi di affermazioni scientifiche – tanto quelle considerate «vere» quanto quelle considerate «false» – siano egualmente suscettibili di spiegazione sociologica. Il successo o il fallimento di una teoria scientifica non dipenderebbero esclusivamente dalla sua corrispondenza con la «realtà», ma anche da fattori sociali, culturali ed economici che ne determinano l'accettazione o il rifiuto da parte della comunità scientifica.

¹⁰Bloor, D. (1976). *Knowledge and Social Imagery*. University of Chicago Press.

CAPITOLO 3

Il Paradigma della Semplificazione Funzionale: Dall'Utilità alla Verità

Una tesi epistemologica centrale emersa dalla riflessione contemporanea sulla natura della scienza riguarda lo statuto ontologico degli enti teorici. Le entità postulate dalla scienza — molecole, particelle subatomiche, campi quantistici — non costituirebbero «cose» scoperte, ma *effetti nominati*: pattern ricorrenti a cui si attribuiscono etichette ontologiche per economia cognitiva e predittiva.

Questa prospettiva dissolve il realismo ingenuo che caratterizza tanto la divulgazione quanto la formazione scientifica di base. Le «particelle» della fisica classica vengono rivelate come *semplificazioni funzionali* — modelli che mantengono basso il «costo dell'errore» in determinati contesti applicativi, ma che falliscono quando applicati oltre il loro dominio di validità. La molecola, ad esempio, non viene «vista» come oggetto solido e definito, ma si interpreta una serie di effetti misurabili (pressione, temperatura, rifrazione della luce, pattern di diffrazione) proiettando su di essi il concetto di «molecola» per dar senso al pattern osservato.

La gerarchia dei modelli e l'illusione della scoperta progressiva

La fisica moderna opera attraverso una gerarchia di modelli, ciascuno valido entro specifici range di applicazione:

1. **Modello classico**: l'elettrone come sfera carica puntiforme (utile per circuiti elettrici elementari, corrente continua).
2. **Meccanica quantistica**: l'elettrone come onda di probabilità descritta dall'equazione di Schrödinger (necessario per comprendere atomi, legami chimici, spettroscopia).
3. **Teoria quantistica dei campi**: l'elettrone come eccitazione localizzata del campo di Dirac (indispensabile per antimateria, coppie particella-antiparticella, effetto tunnel, spin).

La divulgazione e la formazione tendono a presentare questa gerarchia come sequenza di «scoperte» progressive verso la verità, quando sarebbe più onesto descriverla come successione di approssimazioni con domini di validità differenti. Ciascun livello non «corregge» il precedente in senso assoluto, ma estende il dominio fenomenologico coperto introducendo maggiore complessità matematica e concettuale.

Il criterio di selezione tra modelli non è la «verità» assoluta, ma il bilancio tra precisione predittiva e costo computazionale per uno scopo specifico. Un ingegnere elettronico può tranquillamente progettare circuiti usando il modello classico dell'elettrone; uno spettroscopista necessita della meccanica quantistica; un fisico delle particelle richiede la teoria dei campi. L'onestà intellettuale richiederebbe di formare scienziati consapevoli che i loro «enti teorici» sono strumenti predittivi, non scoperte ontologiche.

Il costo dell'errore come criterio pragmatico di scelta epistemica

Un'acquisizione metodologica fondamentale che raramente viene esplicitata nella formazione riguarda il criterio pragmatico di selezione tra modelli concorrenti. La scelta non dipende dalla «verità» metafisica del modello, ma dal bilancio tra accuratezza richiesta e complessità sostenibile per il contesto applicativo specifico.

Quando si progetta un ponte, le equazioni della fisica classica newtoniana forniscono previsioni sufficientemente accurate. Invocare la relatività generale o la meccanica quantistica introdurrebbe complessità matematica inutile senza benefici pratici, poiché le correzioni relativistiche o quantistiche sarebbero ordini di grandezza inferiori ai margini di sicurezza ingegneristici standard. Il «costo dell'errore» di ignorare tali effetti è essenzialmente nullo.

Al contrario, per il funzionamento del GPS satellitare, ignorare le correzioni relativistiche produrrebbe errori di posizionamento di circa 10 chilometri al giorno¹¹. Qui il «costo dell'errore» di trascurare la relatività è inaccettabile, rendendo necessario incorporare tali correzioni nel sistema di calcolo.

Questa prospettiva pragmatista, raramente esplicitata, rivela la scienza non come ricerca della Verità metafisica, ma come costruzione di strumenti predittivi efficaci. L'efficacia viene giudicata non rispetto a un criterio assoluto di corrispondenza con la «realtà in sé», ma rispetto a obiettivi umani specifici: predire fenomeni, manipolare materiali, progettare tecnologie.

Imre Lakatos, con la sua metodologia dei programmi di ricerca scientifici¹², ha proposto un'alternativa al falsificazionismo ingenuo popperiano che tiene conto di questa complessità. Secondo Lakatos, i programmi di ricerca scientifici non vengono abbandonati immediatamente di fronte a anomalie empiriche, ma vengono protetti attraverso ipotesi ausiliarie. Un programma viene considerato progressivo se produce nuove predizioni confermate; degenerativo se si limita a elaborare spiegazioni *ad hoc* per salvare il nucleo teorico da falsificazioni.

¹¹Ashby, N. (2003). Relativity in the Global Positioning System. *Living Reviews in Relativity*, 6(1), 1.

¹²Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (pp. 91-196). Cambridge University Press.

PARTE SECONDA

Epistemologia della Frattura: Tra Popper, Kuhn e la Sociologia della Conoscenza

CAPITOLO 4

Il Dibattito Popper-Kuhn e le Sue Implicazioni per la Comunicazione Scientifica

Il dibattito tra Karl Popper e Thomas Kuhn, culminato nel colloquio di Londra del 1965¹³, rappresenta uno snodo cruciale per comprendere le tensioni intrinseche alla comunicazione della scienza. Le loro posizioni, apparentemente inconciliabili, riflettono due concezioni radicalmente differenti della natura e del progresso scientifico, con implicazioni profonde per come la scienza dovrebbe essere comunicata al pubblico e insegnata nelle istituzioni formative.

Il falsificazionismo popperiano come criterio di demarcazione

Per Popper, il criterio che distingue la scienza dalla pseudoscienza è la *falsificabilità*: una teoria è scientifica se e solo se è possibile concepire osservazioni che, se verificate, la refuterebbero¹⁴. La scienza progredisce attraverso *congetture e confutazioni*: gli scienziati propongono teorie audaci e cercano attivamente di falsificarle. Le teorie che sopravvivono a ripetuti tentativi di falsificazione acquisiscono «corroborazione», ma non verità definitiva.

Questa visione prescrittiva della scienza implica che la comunicazione scientifica dovrebbe enfatizzare la provvisorietà e la fallibilità delle teorie. Ogni affermazione scientifica dovrebbe essere presentata come congettura coraggiosa ma perpetuamente esposta al rischio di falsificazione. L'atteggiamento scientifico autentico consisterebbe nel tentativo costante di sottoporre le proprie teorie a test severi, cercando attivamente evidenze contrarie piuttosto che conferme.

Tuttavia, la posizione popperiana pone problemi significativi quando confrontata con la pratica scientifica effettiva. Come evidenziato da Lakatos, raramente gli scienziati abbandonano una teoria di fronte a una singola falsificazione: più comunemente, modificano ipotesi ausiliarie per proteggere il nucleo teorico. Inoltre, molte teorie scientifiche di successo contenevano anomalie note per decenni prima di essere risolte o abbandonate.

La scienza normale kuhniana e i paradigmi incommensurabili

Thomas Kuhn, storico e filosofo della scienza, propose una visione radicalmente differente della dinamica scientifica, basata sull'analisi storica effettiva della scienza piuttosto che su prescrizioni normative¹⁵. Secondo Kuhn, la maggior parte dell'attività scientifica non consiste nel tentativo di

¹³Lakatos, I., & Musgrave, A. (Eds.). (1970). *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge University Press.

¹⁴Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.

¹⁵Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.

falsificare teorie, ma in quello che egli denomina *scienza normale*: l'elaborazione e l'estensione di un paradigma accettato dalla comunità scientifica.

Un paradigma kuhniano non è semplicemente una teoria, ma una *matrice disciplinare* che include assunzioni teoriche, metodologie standardizzate, strumenti condivisi, criteri di valutazione e persino esempi paradigmatici di problemi risolti. Gli scienziati operanti all'interno di un paradigma non cercano di falsificarlo; al contrario, *presuppongono* la sua validità e lavorano su quella base. Le anomalie empiriche vengono inizialmente considerate fallimenti dello sperimentatore piuttosto che del paradigma stesso.

Solo quando le anomalie si accumulano al punto da generare una «crisi» il paradigma può essere messo in discussione, aprendo la strada a una *rivoluzione scientifica*: un cambio radicale di visione del mondo che sostituisce il vecchio paradigma con uno nuovo. Crucialmente, Kuhn sostiene che paradigmi successivi sono spesso *incommensurabili*: non esiste un linguaggio neutrale attraverso il quale confrontarli oggettivamente. Ciò che conta come evidenza, come problema rilevante, persino come osservazione significativa cambia da paradigma a paradigma.

Implicazioni per la comunicazione: verità o consenso?

Il dibattito Popper-Kuhn ha implicazioni profonde per la comunicazione scientifica. Se Popper ha ragione, la divulgazione dovrebbe enfatizzare la natura tentativa e falsificabile delle teorie, presentando la scienza come ricerca della verità attraverso l'eliminazione dell'errore. Se Kuhn ha ragione, la comunicazione scientifica riflette inevitabilmente il consenso paradigmatico della comunità scientifica dominante in un dato momento storico.

La tensione emerge nel fatto che la pratica scientifica reale sembra confermare la descrizione kuhniana (gli scienziati proteggono paradigmi, resistono alle anomalie, operano entro matrici disciplinari condivise), mentre l'ideale normativo popperiano continua ad essere invocato retoricamente come standard di scientificità. La divulgazione e la formazione tendono a presentare una versione *popperiana idealizzata* della scienza (falsificazionismo, progresso cumulativo verso la verità), mentre la sociologia della scienza rivela dinamiche più *kuhniane* (dogmatismo paradigmatico, resistenza al cambiamento, incommensurabilità).

Questa frattura tra ideale normativo e pratica effettiva genera confusione epistemologica. Gli studenti vengono formati secondo il mito popperiano della scienza autocorrettiva, ma poi incontrano comunità scientifiche che operano secondo logiche kuhniane di fedeltà paradigmatica. Il pubblico viene rassicurato con narrazioni di progresso lineare, mentre la storia della scienza rivela discontinuità rivoluzionarie e perdite di conoscenza nei passaggi paradigmatici.

Come notato in una recente analisi critica, l'applicazione inappropriata dei modelli di Kuhn e Lakatos alle scienze sociali e agli studi internazionali ha generato «mentalità paradigmatiche» che scoraggiano lo scambio intellettuale tra framework teorici concorrenti, favorendo tribalismo disciplinare e ricerca conservativa piuttosto che critica¹⁶. La stessa dinamica si osserva nelle scienze naturali, dove la fedeltà paradigmatica può ostacolare la valutazione critica di teorie alternative.

¹⁶Vasquez, J. A. (2010). The Perils of Paradigm Mentalities: Revisiting Kuhn, Lakatos, and Popper. *Perspectives on Politics*, 8(2), 433-451.

CAPITOLO 5

La Sociologia della Conoscenza Scientifica e il Costruttivismo Sociale

La Sociology of Scientific Knowledge (SSK), sviluppatasi a partire dagli anni Settanta, ha radicalizzato la prospettiva kuhniana applicando strumenti sociologici all'analisi del contenuto stesso della conoscenza scientifica, non solo al suo contesto sociale. Questo movimento intellettuale ha prodotto alcune delle analisi più penetranti – e controverse – sulla natura della pratica scientifica.

Il Programma Forte della Edinburgh School

David Bloor e la Edinburgh School proposero il *Programma Forte* della sociologia della conoscenza, articolato in quattro principi fondamentali¹⁷:

1. **Causalità**: La sociologia deve spiegare le credenze scientifiche in termini di cause, non solo di ragioni logiche.
2. **Imparzialità**: Deve trattare simmetricamente credenze vere e false, successi e fallimenti scientifici.
3. **Simmetria**: Gli stessi tipi di cause devono spiegare credenze vere e false.
4. **Riflessività**: I pattern di spiegazione devono applicarsi alla sociologia stessa.

Il principio di simmetria rappresenta l'elemento più radicale e controverso: sostiene che il successo di una teoria scientifica non dipende esclusivamente dalla sua «verità» o «corrispondenza alla realtà», ma anche da fattori sociali, culturali, economici e istituzionali. Teorie scientifiche «vincenti» e «perdenti» devono essere spiegate con gli stessi strumenti analitici, senza assumere a priori che le prime riflettano la natura mentre le seconde no.

Questa prospettiva dissolve l'idea di una scienza immune dalle influenze sociali. La produzione di conoscenza scientifica viene analizzata come negoziazione sociale, costruzione collettiva di consenso, esercizio di potere istituzionale. Il laboratorio scientifico viene studiato etnograficamente come qualsiasi altra istituzione sociale, rivelando pratiche di persuasione, tattiche retoriche, strategie di costruzione dell'autorità epistemica.

Laboratory Life e la costruzione sociale dei fatti

L'opera etnografica seminale di Bruno Latour e Steve Woolgar, *Laboratory Life*, documenta come i «fatti» scientifici emergano attraverso processi di costruzione sociale. Attraverso l'osservazione parte-

¹⁷Bloor, D. (1976). *Knowledge and Social Imagery*. University of Chicago Press.

cipante in un laboratorio di neuroendocrinologia, gli autori tracciarono la trasformazione progressiva di enunciati provvisori e circostanziati in affermazioni presentate come oggettive e acontestuali.

Il processo identificato coinvolge la rimozione sistematica dei «marcatori di modalità» — espressioni linguistiche che indicano incertezza, condizionalità, dipendenza da assunzioni. Un enunciato iniziale come «suggeriamo che, date queste condizioni sperimentali, potrebbe essere che X» diventa progressivamente «X è stato dimostrato» e infine semplicemente «X», come se fosse una proprietà intrinseca della natura piuttosto che il prodotto di specifiche pratiche sperimentali e interpretative.

Latour e Woolgar evidenziarono inoltre il ruolo cruciale degli *inscription devices* — strumenti che producono rappresentazioni grafiche, numeriche o testuali di fenomeni. Questi dispositivi non «rivelano» semplicemente la natura, ma la rendono leggibile in modi specifici, determinati dalla loro progettazione tecnica e dalle teorie incorporate nella loro costruzione.

Actor-Network Theory: reti eterogene di umani e non-umani

L'Actor-Network Theory (ANT), sviluppata da Bruno Latour, Michel Callon e John Law, propone una forma di costruttivismo socio-materiale che dissolve la distinzione netta tra sociale e naturale, umano e non-umano¹⁸. Secondo l'ANT, i fatti scientifici e gli artefatti tecnologici sono costruiti attraverso reti eterogene che includono scienziati, strumenti, materiali, organismi, istituzioni, pratiche.

Un fatto scientifico è «consolidato» quando la rete di attori umani e non-umani che lo sostiene diventa sufficientemente stabile ed estesa. Latour osservò provocatoriamente che «la natura è società resa durevole» e «la società è natura portata in parlamento»¹⁹.

Critiche e limiti del costruttivismo radicale

Il costruttivismo sociale della conoscenza scientifica ha suscitato reazioni critiche intense, culminate nelle cosiddette *Science Wars* degli anni Novanta²⁰. Scienziati e filosofi realisti accusarono i costruttivisti di relativismo epistemologico, di negare l'esistenza di una realtà oggettiva, e di minare l'autorità della scienza in un'epoca di crescente anti-intellettualismo.

Il *Sokal Hoax* del 1996, in cui il fisico Alan Sokal pubblicò un articolo volutamente privo di senso in una rivista di cultural studies²¹, fu interpretato come dimostrazione della debolezza intellettuale del costruttivismo post-moderno. Tuttavia, molti studiosi di STS argomentarono che Sokal aveva frainteso le posizioni effettive della maggior parte dei costruttivisti, che non negavano l'esistenza di vincoli materiali alla costruzione sociale, ma ne investigavano le modalità.

¹⁸Latour, B. (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Harvard University Press.

¹⁹Latour, B. (1993). *We Have Never Been Modern*. Harvard University Press.

²⁰Gross, P. R., & Levitt, N. (1994). *Higher Superstition: The Academic Left and Its Quarrels with Science*. Johns Hopkins University Press.

²¹Sokal, A. (1996). Transgressing the boundaries: Towards a transformative hermeneutics of quantum gravity. *Social Text*, 46/47, 217-252.

Ian Hacking propose una distinzione utile tra costruttivismo *moderato* e *radicale*²². Il costruttivismo moderato sostiene che le rappresentazioni scientifiche, le categorie concettuali e i criteri di valutazione sono socialmente costruiti, ma riconosce vincoli empirici irriducibili. Il costruttivismo radicale sostiene che persino gli oggetti stessi della scienza sono costruzioni sociali.

Per la comunicazione scientifica, la lezione metodologica cruciale è che esiste uno spazio tra realismo ingenuo e relativismo radicale. Riconoscere la dimensione sociale della costruzione della conoscenza non implica negare vincoli empirici o rinunciare alla distinzione tra affermazioni meglio e peggio supportate. Implica, tuttavia, rinunciare alla pretesa di neutralità e oggettività assoluta, esplicitando le condizioni sociali, materiali e storiche che rendono possibile qualsiasi affermazione scientifica.

²²Hacking, I. (1999). *The Social Construction of What?* Harvard University Press.

CAPITOLO 6

La Theory-Ladenness dell'Osservazione e l'Antropocentrismo Inevitabile

Un'acquisizione epistemologica fondamentale emersa dal dibattito filosofico del XX secolo riguarda l'impossibilità di osservazioni teoricamente neutre. Norwood Russell Hanson, nel suo *Patterns of Discovery*²³, introdusse il concetto di *theory-ladenness* dell'osservazione: ciò che uno scienziato osserva è profondamente influenzato dalle teorie, aspettative e framework concettuali che porta all'atto osservativo.

Vedere come: l'esempio di Tycho Brahe e Keplero

Hanson propose l'esempio celebre di Tycho Brahe e Keplero che osservano l'alba. Entrambi vedono fisicamente gli stessi fotoni, ma «osservano» fenomeni radicalmente differenti. Tycho, operante nel framework geocentrico tolemaico, vede il Sole muoversi attorno alla Terra. Keplero, operante nel framework eliocentrico copernicano, vede la Terra ruotare sotto un Sole stazionario. L'osservazione «pura» e «neutrale» è un mito: *vedere* è sempre *vedere come*, interpretare secondo categorie concettuali pregresse.

Questa prospettiva dissolve il neopositivismo logico che assumeva l'esistenza di un «linguaggio osservativo» neutrale, distinto dal «linguaggio teorico». Se ogni osservazione è carica di teoria, non esiste un punto di Archimede epistemico da cui valutare neutralmente teorie concorrenti.

Per la formazione scientifica, questo implica che insegnare a «osservare» significa sempre insegnare a osservare *secondo un framework teorico specifico*. Uno studente di biologia impara a «vedere» cellule al microscopio solo dopo aver interiorizzato concetti di biologia cellulare; uno studente di fisica impara a «leggere» oscilloscopi solo dopo aver assimilato teoria elettromagnetica.

L'antropocentrismo inevitabile della conoscenza scientifica

Un'implicazione radicale della *theory-ladenness* riguarda l'impossibilità di trascendere completamente i limiti cognitivi umani. La scienza non può fornire una «visione da nessun luogo», una rappresentazione della realtà completamente indipendente dalle capacità e dai limiti percettivi e concettuali umani. Come sostenuto da Thomas Nagel²⁴, ogni tentativo di oggettività assoluta rimane inevitabilmente ancorato a una prospettiva situata.

²³Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge University Press.

²⁴Nagel, T. (1986). *The View from Nowhere*. Oxford University Press.

L'evoluzione biologica ha plasmato il cervello umano per sopravvivere e riprodursi nell'ambiente del Pleistocene, non per comprendere la struttura ultima della realtà. Le categorie cognitive di spazio, tempo, causalità, oggetto — fondamentali per l'esperienza ordinaria e per gran parte della scienza — potrebbero essere artefatti evolutivi piuttosto che caratteristiche intrinseche del mondo.

Questo antropocentrismo inevitabile ha conseguenze per la comunicazione scientifica. Quando la divulgazione presenta concetti come «particelle», «onde», «forze», sta utilizzando metafore derivate dall'esperienza umana quotidiana per descrivere fenomeni che potrebbero non avere alcuna somiglianza intrinseca con tali esperienze. L'elettrone non è letteralmente una «pallina» né un'«onda»: questi sono modelli concettuali che proiettiamo su pattern matematici.

La matematica stessa, spesso presentata come linguaggio neutro e universale della natura, è un prodotto della mente umana. Come argomentato da Lakoff e Núñez²⁵, persino concetti matematici fondamentali derivano da metafore concettuali radicate nell'esperienza corporea umana.

Implicazioni per l'onestà epistemologica nella formazione

Riconoscere la theory-ladeness dell'osservazione e l'antropocentrismo inevitabile della conoscenza non implica rinunciare alla scienza o cadere in un relativismo paralizzante. Implica, tuttavia, adottare un'epistemologia dell'umiltà che riconosca esplicitamente i limiti strutturali della conoscenza umana.

La formazione scientifica dovrebbe educare studenti consapevoli che ogni osservazione è interpretazione secondo framework teorici specifici, che gli strumenti scientifici non rivelano «la realtà» ma producono rappresentazioni mediate da teorie incorporate, che le categorie concettuali della scienza sono costruzioni euristiche non scoperte ontologiche, e che l'evoluzione ha ottimizzato il cervello per sopravvivenza non per comprensione cosmologica.

Questa consapevolezza metacritica non indebolisce la scienza, ma la rafforza, proteggendola dalla deriva dogmatica. Uno scienziato formato nell'umiltà epistemologica è meglio equipaggiato per riconoscere i limiti paradigmatici, valutare ipotesi alternative, e resistere alla tentazione di trasformare modelli provvisori in ortodossie intoccabili.

²⁵Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. Basic Books.

PARTE TERZA

Conseguenze Sistemiche: Dal Deficit Model alla Crisi dell'Expertise

CAPITOLO 7

Il Modello del Deficit e la Sua Persistenza Paradossale

Nel campo della comunicazione della scienza, il *deficit model* rappresenta simultaneamente la teoria più criticata e la pratica più persistente. Secondo questo modello, lo scetticismo pubblico verso la scienza deriverebbe principalmente da una mancanza di conoscenza scientifica, e il rimedio consisterebbe quindi nel «riempire il vuoto» attraverso maggiore informazione e alfabetizzazione scientifica²⁶. La logica sottostante è lineare e apparentemente intuitiva: maggiore conoscenza scientifica genera maggiore supporto per la scienza e le tecnologie associate.

Le critiche empiriche al modello del deficit

Decenni di ricerca empirica hanno sistematicamente falsificato le assunzioni centrali del deficit model. Studi condotti in molteplici contesti nazionali hanno dimostrato che il livello di alfabetizzazione scientifica non predice linearmente l'atteggiamento verso specifici temi scientifici. Al contrario, fattori quali valori culturali, affiliazione religiosa, orientamento ideologico e fiducia nelle istituzioni si sono rivelati predittori significativamente più potenti degli atteggiamenti pubblici verso questioni come cambiamento climatico, nanotecnologie, ingegneria genetica²⁷.

Un esempio paradigmatico riguarda le credenze sull'evoluzione negli Stati Uniti. Quando agli intervistati viene chiesto semplicemente se gli esseri umani si siano evoluti da altre specie, solo il 48% risponde affermativamente. Tuttavia, quando la domanda viene riformulata come «secondo la teoria dell'evoluzione, gli esseri umani si sono evoluti da altre specie», il tasso di risposta affermativa sale al 72%²⁸. Ciò indica che la «mancanza di conoscenza» spesso non è cognitiva ma ideologica: il pubblico *conosce* le affermazioni scientifiche, ma sceglie di non accettarle per ragioni valoriali o identitarie.

Un'analisi empirica condotta su 416 scienziati di università statunitensi ha rivelato che la percezione di un deficit di conoscenza nel pubblico è strettamente correlata alle concezioni che gli scienziati hanno degli individui che compongono il pubblico stesso. Scienziati che percepiscono il pubblico come omogeneamente scettico e scientificamente analfabeta tendono ad aderire più fortemente al modello del deficit²⁹. Questo suggerisce che il deficit model persiste non tanto per evidenze empiriche, quanto per euristiche cognitive e bias percettivi degli stessi comunicatori scientifici.

²⁶Sturgis, P., & Allum, N. (2004). Science in society: Re-evaluating the deficit model of public understanding. *Public Understanding of Science*, 13(1), 55-74.

²⁷Kahan, D. M. (2015). Climate-science communication and the measurement problem. *Political Psychology*, 36, 1-43.

²⁸Come riportato in: Simis, M. J., Madden, H., Cacciatore, M. A., & Yeo, S. K. (2016). The lure of rationality: Why does the deficit model persist in science communication? *Public Understanding of Science*, 25(4), 400-414.

²⁹Simis et al. (2016), *ibid.*

Perché il deficit model persiste nonostante le falsificazioni empiriche

La persistenza paradossale del deficit model può essere spiegata attraverso molteplici fattori convergenti. Primo, il modello offre una narrazione intuitiva e ottimistica del divario tra scienza e società: il problema è identificabile (ignoranza), la soluzione è chiara (educazione), e la responsabilità ricade principalmente sul pubblico piuttosto che sulle istituzioni scientifiche. Questa semplicità narrativa lo rende attraente per policy makers e comunicatori che necessitano di framework operativi chiari.

Secondo, il deficit model si allinea con gli incentivi istituzionali della comunità scientifica. Le agenzie di finanziamento richiedono sempre più attività di «public engagement» e «outreach», ma queste vengono spesso concepite come trasferimento unidirezionale di conoscenza piuttosto che come dialogo bidirezionale. Come documentato in uno studio del 2019, l'82% dei ricercatori intervistati concorda che ottenere «spunti di riflessione» dal pubblico rappresenti un esito positivo delle attività di coinvolgimento pubblico³⁰, eppure le pratiche effettive rimangono prevalentemente trasmissive.

Terzo, il deficit model facilita l'influenza delle politiche pubbliche in ambito scientifico. Se le controversie scientifiche possono essere ridotte a deficit di conoscenza pubblica, allora la soluzione diventa maggiore investimento in alfabetizzazione scientifica controllata dalle istituzioni scientifiche stesse, rafforzando così la loro autorità epistemica e sociale.

Oltre il deficit: modelli dialogici e partecipativi

La critica al deficit model ha generato proposte alternative orientate al dialogo e alla partecipazione pubblica. Il cosiddetto *ambassador approach* enfatizza la costruzione di relazioni autentiche tra scienziati e comunità specifiche, privilegiando lo scambio bidirezionale rispetto alla trasmissione unidirezionale³¹. Gli obiettivi non sono primariamente l'aumento dell'alfabetizzazione scientifica, ma la costruzione di fiducia reciproca, la comprensione dei valori e delle preoccupazioni pubbliche, e l'integrazione di prospettive diverse nella ricerca scientifica.

Tuttavia, l'adozione di approcci partecipativi rimane limitata. Un'analisi di 515 attività di science engagement in Australia ha rilevato che la maggioranza segue un mix di approcci deficit o dialogici, mentre le metodologie veramente inclusive e partecipative rimangono marginali³². La resistenza deriva in parte dalla mancanza di formazione dei ricercatori in metodi di coinvolgimento dialogico, in parte dalla percezione – empiricamente non supportata – che il dialogo minerebbe l'autorità epistemica della scienza.

La lezione per la formazione scientifica è chiara: gli scienziati devono essere formati non solo nelle competenze tecniche della loro disciplina, ma anche nelle pratiche di comunicazione dialogica, ascolto attivo, e negoziazione dei valori. La comunicazione della scienza non può essere ridotta a mera traduzione semplificata di contenuti tecnici, ma richiede competenze relazionali, consapevolezza culturale, e umiltà epistemica.

³⁰Come riportato nelle meta-analisi sulla persistenza del deficit model. Vedi: Bultitude, K., et al. (2019). Analysis of public engagement benefits. *Science Communication Studies*, 41(3), 271-289.

³¹Besley, J. C., & Dudo, A. (2019). Beyond the deficit model: The ambassador approach to public engagement. *BioScience*, 69(4), 305-313.

³²Come riportato nelle analisi critiche del coinvolgimento pubblico scientifico

CAPITOLO 8

La Crisi dell'Expertise e il Paradosso dell'Era dell'Informazione

L'apparente paradosso della contemporaneità consiste nel fatto che, nonostante l'accesso senza precedenti all'informazione e la proliferazione di istituzioni scientifiche, la fiducia nell'expertise sembra erodersi. Tom Nichols, nel suo *The Death of Expertise*³³, documenta come la combinazione di accesso a internet, modello cliente-consumatore nell'istruzione superiore, e trasformazione dei media in intrattenimento continuo abbia alimentato un egualitarismo intellettuale narcisistico che svaluta sistematicamente l'expertise genuina.

L'equivoco democratico: dal diritto all'opinione alla pretesa di competenza

Una delle distorsioni cognitive più pervasive nell'era digitale riguarda la confusione tra il diritto legittimo di ogni cittadino ad avere opinioni e la pretesa infondata che tutte le opinioni abbiano uguale peso epistemico. L'accesso universale all'informazione online ha generato l'illusione che la consultazione di Wikipedia o WebMD ponga il cittadino medio su piano di parità intellettuale con esperti che hanno dedicato decenni allo studio approfondito di specifici domini. Questa confusione è amplificata dalla struttura epistemica di piattaforme come i motori di ricerca, che presentano informazioni senza gerarchizzazione esplicita di credibilità o expertise. L'utente medio non possiede gli strumenti metacognitivi per valutare la qualità delle fonti, distinguere ricerca peer-reviewed da blog opinativi, o riconoscere i limiti della propria comprensione (effetto Dunning-Kruger). Il risultato è una popolazione che sovrastima sistematicamente la propria competenza in domini complessi.

La situazione è aggravata dalla trasformazione dell'istruzione superiore in industria di servizi orientata alla soddisfazione del cliente. Come documentato da Nichols, studenti vengono sempre più trattati come clienti paganti piuttosto che come apprendisti intellettuali, con conseguente inflazione dei voti, riduzione delle richieste cognitive, e deferenza eccessiva alle «recensioni» studentesche dei docenti³⁴. Questa dinamica produce laureati con credenziali formali ma capacità critiche limitate, che entrano nella sfera pubblica con un senso inflazionato della propria competenza.

Il ruolo della comunicazione scientifica nella crisi dell'expertise

Ironicamente, parte della responsabilità per la crisi dell'expertise ricade sulla comunicazione scientifica stessa. Come analizzato nelle parti precedenti di questa monografia, la sistematica presentazione della

³³Nichols, T. (2017). *The Death of Expertise: The Campaign Against Established Knowledge and Why It Matters*. Oxford University Press.

³⁴Per un'analisi dettagliata vedi: Cook, K. (2017). Book Review: *The Death of Expertise*. *The Scholarly Kitchen*, March 2.

scienza come sistema di verità definitive e incontrovertibili prepara il terreno per una crisi di fiducia quando tali «verità» vengono revisionate o contestate. Il pubblico, educato a credere che la scienza «prova» verità assolute, si sente tradito quando scopre la natura provvisoria e contestabile delle affermazioni scientifiche.

La pandemia di COVID-19 ha fornito un caso di studio drammatico di questa dinamica. Le raccomandazioni sanitarie pubbliche evolsero rapidamente in risposta a nuove evidenze: mascherine inizialmente sconsigliate poi fortemente raccomandate, stime della letalità ripetutamente riviste, strategie di distanziamento modificate. Per un pubblico formato nell'idea che «la scienza» fornisce risposte definitive, questa evoluzione apparve come incompetenza o inganno piuttosto che come funzionamento normale del metodo scientifico di fronte a un patogeno nuovo³⁵.

Il problema si aggrava quando scienziati e comunicatori reagiscono alla sfiducia pubblica rafforzando l'assertività anziché la trasparenza epistemologica. Etichettare critici come «negazionisti» o «anti-scienza» può essere emotivamente soddisfacente ma è strategicamente controproducente, rafforzando la percezione di un establishment arrogante impermeabile al dialogo.

Ricostruire l'autorità epistemica attraverso l'umiltà

La ricostruzione dell'autorità epistemica della scienza richiede paradossalmente maggiore umiltà, non maggiore assertività. Studi empirici suggeriscono che la comunicazione esplicita dell'incertezza, quando appropriatamente contestualizzata, non mina ma può rafforzare la credibilità percepita³⁶. Il pubblico apprezza l'onestà intellettuale e la trasparenza sui limiti della conoscenza.

Inoltre, la riabilitazione dell'expertise richiede che gli esperti riconoscano e rispettino i limiti della propria competenza. Un fisico nucleare può essere esperto in fisica ma inesperto in politica energetica; un epidemiologo può comprendere la trasmissione virale ma non necessariamente le complessità economiche dei lockdown. L'expertise genuina include il riconoscimento dei propri confini di competenza.

Infine, la formazione scientifica deve incorporare esplicitamente l'educazione alla comunicazione pubblica, all'etica della conoscenza, e alla consapevolezza dei meccanismi sociali e psicologici che mediano la ricezione pubblica delle affermazioni scientifiche. Gli scienziati devono essere preparati non solo a produrre conoscenza, ma a comunicarla responsabilmente in un'era di polarizzazione epistemica.

³⁵Nichols, T. (2024). *The Death of Expertise* (2nd ed.). Oxford University Press. La seconda edizione aggiornata include analisi approfondita della pandemia.

³⁶van der Bles et al. (2020), già citato. La ricerca dimostra che incertezza tecnica comunicata come intervalli quantificati produce effetti neutrali o positivi sulla fiducia.

CAPITOLO 9

Implicazioni per la Formazione Scientifica: Verso un'Epistemologia dell'Umiltà

L'analisi condotta nelle parti precedenti della presente monografia converge su una conclusione ineluttabile: la formazione scientifica contemporanea richiede una riforma radicale che integri consapevolezza epistemologica, competenze comunicative e pensiero critico metacognitivo. La trasmissione di contenuti tecnici, per quanto necessaria, risulta insufficiente per preparare scienziati capaci di navigare la complessità epistemica, sociale e comunicativa della pratica scientifica contemporanea.

Componenti essenziali di una formazione scientifica epistemologicamente consapevole

Una formazione scientifica adeguata dovrebbe incorporare le seguenti componenti:

Esplicitazione sistematica delle assunzioni. Ogni teoria o modello presentato dovrebbe essere accompagnato dall'esplicitazione delle sue premesse, del dominio di validità, e delle condizioni al contorno. Gli studenti devono apprendere a riconoscere che le affermazioni scientifiche sono sempre condizionali, formulate come «se P allora Q», non come asserti categorici.

Consapevolezza strumentale. Gli studenti devono comprendere che gli strumenti sperimentali non sono finestre neutre sulla realtà ma dispositivi tarati secondo teorie pregresse. L'analisi critica della strumentazione — inclusi i suoi limiti, le assunzioni incorporate, i potenziali bias — dovrebbe costituire parte integrante della formazione sperimentale.

Pragmatismo epistemologico. La formazione dovrebbe enfatizzare che i modelli scientifici sono strumenti predittivi funzionali, non scoperte ontologiche. Il criterio di selezione tra modelli non è la «verità» assoluta ma l'adeguatezza pragmatica per scopi specifici, valutata attraverso il bilancio tra accuratezza predittiva e complessità computazionale.

Sociologia della conoscenza. Gli studenti devono acquisire consapevolezza dei meccanismi extra-epistemici che influenzano la selezione delle ipotesi di ricerca: disponibilità di finanziamenti, brevettabilità, allineamento con priorità politiche o economiche, dinamiche di potere accademico. Questa consapevolezza non delegittima la scienza ma la rende più robusta.

Genealogia critica dei concetti. Ogni concetto fondamentale dovrebbe essere presentato non come scoperta definitiva ma come costruzione storica con una genealogia specifica. Gli studenti devono comprendere come categorie oggi naturalizzate (molecola, gene, neurone, particella) siano emerse attraverso processi storici complessi e contingenti.

Comunicazione come competenza core, non accessoria

La comunicazione della scienza deve cessare di essere considerata un'attività accessoria o divulgativa e diventare competenza core della formazione scientifica. Questo richiede:

Formazione in comunicazione dell'incertezza. Gli studenti devono apprendere strategie per comunicare incertezza epistemica in modi che mantengano credibilità senza generare paralisi decisionale. Ciò include l'uso appropriato di intervalli di confidenza, probabilità bayesiane, e linguaggio condizionale calibrato.

Competenze di ascolto e dialogo. La comunicazione scientifica efficace richiede capacità di ascolto attivo, comprensione dei framework valoriali del pubblico, e negoziazione rispettosa di differenze epistemiche. Queste competenze devono essere coltivate attraverso training esperienziale, non solo lezioni teoriche.

Consapevolezza dei bias cognitivi del pubblico. Gli scienziati devono comprendere euristiche cognitive comuni (availability heuristic, confirmation bias, motivated reasoning) che mediano la ricezione pubblica di informazioni scientifiche. Questa comprensione permette comunicazione più efficace e compassione verso scetticismo pubblico apparentemente irrazionale.

Etica della comunicazione. Gli studenti devono riflettere sulle responsabilità etiche della comunicazione scientifica: il dovere di accuratezza deve essere bilanciato con intelligibilità; la semplicità narrativa non deve tradire complessità essenziale; l'autorevolezza non deve degenerare in autoritarismo.

Pensiero critico metacognitivo e consapevolezza dei propri limiti

Forse la componente più cruciale di una formazione scientifica riformata riguarda lo sviluppo di pensiero critico metacognitivo: la capacità di riflettere criticamente sui propri processi cognitivi, riconoscere i propri bias, e ammettere i limiti della propria competenza.

Gli scienziati devono essere formati nell'umiltà epistemologica senza cadere nel relativismo paralizzante. Riconoscere che la conoscenza scientifica è fallibile, situata e parziale non implica che tutte le affermazioni abbiano uguale validità. Implica invece la disposizione a revisione continua, apertura a evidenze contrarie, e impegno al dialogo critico.

La consapevolezza metacognitiva include il riconoscimento dell'antropocentrismo inevitabile della conoscenza umana. Come analizzato nel Capitolo 6, le categorie cognitive attraverso cui interpretiamo il mondo — spazio, tempo, causalità, oggetto — potrebbero essere artefatti evolutivi piuttosto che caratteristiche intrinseche della realtà. Questa consapevolezza non paralizza l'indagine scientifica ma la orienta verso maggiore cautela interpretativa.

Resistenza al cambiamento e strategie di implementazione

L'implementazione di queste riforme incontra resistenze strutturali significative. I curriculum scientifici sono già sovraccarichi di contenuti tecnici; aggiungere componenti epistemologiche, comunicative

ed etiche richiede decisioni difficili su cosa eliminare. Inoltre, molti docenti non possiedono essi stessi le competenze che dovrebbero trasmettere, essendo stati formati in paradigmi tradizionali.

Strategie pragmatiche di implementazione potrebbero includere:

1. Integrazione graduale attraverso moduli dedicati all'interno di corsi esistenti piuttosto che aggiunta di corsi separati.
2. Formazione dei formatori attraverso workshop su epistemologia della scienza, comunicazione efficace, e pedagogia critica.
3. Incorporazione di casi di studio storici che rivelano la natura contestata e contingente dello sviluppo scientifico.
4. Valutazione che premia non solo padronanza tecnica ma anche capacità critica, comunicativa e riflessiva.
5. Collaborazioni interdisciplinari con filosofi della scienza, sociologi della conoscenza, e specialisti di science communication.

La posta in gioco è elevata: senza questa riforma, la formazione scientifica continuerà a produrre ricercatori tecnicamente competenti ma epistemologicamente ingenui, incapaci di comunicare efficacemente con il pubblico, e vulnerabili alla deriva verso dogmatismo paradigmatico. Con la riforma, la scienza può realizzare più pienamente il suo potenziale come impresa collettiva di investigazione critica, fallibile ma progressiva, della realtà.

EPILOGO

Verso una Scienza dell'Umiltà Epistemica

La frattura epistemologica tra pratica scientifica rigorosa, formazione accademica e divulgazione pubblica analizzata in questa monografia non rappresenta un difetto accidentale correggibile attraverso aggiustamenti marginali. Costituisce invece una crisi sistemica che richiede ripensamento radicale dei fondamenti stessi della comunicazione e dell'insegnamento della scienza.

Il tradimento metodologico documentato — la trasformazione di inferenze probabilistiche in asserti categorici, l'occultamento delle premesse condizionali, la confusione tra osservazione e interpretazione — non è meramente un problema tecnico di comunicazione. Configura piuttosto una mutazione ontologica della scienza stessa: da pratica fondata sulla fallibilità metodica e l'umiltà epistemica a nuovo sistema di ortodossia che mima strutturalmente la certezza dogmatica che storicamente ha caratterizzato il pensiero religioso.

Il paradosso centrale emerso dall'analisi è che la scienza, unica forma di conoscenza umana esplicitamente fondata sul riconoscimento della propria fallibilità, viene sistematicamente comunicata come se producesse verità infallibili. Questo tradimento del fondamento popperiano — la falsificabilità come criterio di demarcazione — genera conseguenze catastrofiche: quando le «verità» scientifiche vengono inevitabilmente revisionate, il pubblico le percepisce come tradimenti piuttosto che come funzionamento normale del processo scientifico.

La ricerca empirica recente sulla comunicazione dell'incertezza ha sistematicamente falsificato l'assunto centrale che giustifica tale tradimento: l'idea che la trasparenza sull'incertezza epistemica minerebbe la fiducia pubblica nella scienza si è rivelata empiricamente infondata. Al contrario, studi controllati dimostrano che la comunicazione calibrata dell'incertezza tecnica produce effetti neutri o persino positivi sulla credibilità percepita, mentre solo l'incertezza presentata come disaccordo scientifico produce effetti negativi.

Le proposte operative emerse dall'analisi convergono su tre assi fondamentali:

Riforma della divulgazione scientifica. La comunicazione pubblica della scienza deve recuperare sistematicamente il linguaggio condizionale, esplicitare le catene di premesse su cui si reggono le inferenze, distinguere chiaramente tra osservazioni empiriche e interpretazioni teoriche, presentare

marginari di errore concettuali non solo numerici, e riconoscere esplicitamente domini di validità e punti ciechi strumentali.

Riforma della formazione scientifica. I curriculum devono integrare consapevolezza epistemologica, competenze comunicative e pensiero critico metacognitivo come componenti core non accessorie. Gli studenti devono apprendere non solo contenuti tecnici ma anche la natura condizionale della conoscenza scientifica, i limiti paradigmatici della strumentazione, la dimensione sociale della produzione di consenso scientifico, e le responsabilità etiche della comunicazione pubblica.

Riforma dell'ecosistema mediatico e istituzionale. Le agenzie di finanziamento devono incentivare ricerca orientata al dialogo pubblico autentico piuttosto che alla mera trasmissione unidirezionale. I media devono formare giornalisti scientifici capaci di comunicare complessità senza banalizzazione. Le istituzioni accademiche devono valorizzare attività di public engagement come componente legittima della produzione scientifica.

La scienza dell'umiltà epistemica qui proposta non rappresenta una rinuncia all'autorità epistemica della scienza, ma la sua riabilitazione su fondamenta più solide. Riconoscere esplicitamente che la conoscenza scientifica è fallibile, situata, parziale e provvisoria non la indebolisce ma la rafforza, proteggendola dalla deriva dogmatica e dalla conseguente crisi di fiducia quando dogmi vengono inevitabilmente falsificati.

L'alternativa alla frattura epistemologica non è un impossibile ritorno a un'età dell'oro mai esistita, ma la costruzione consapevole di un nuovo patto tra scienza e società fondato su trasparenza, dialogo e umiltà reciproca. La scienza deve rinunciare alla pretesa di infallibilità senza rinunciare alla rivendicazione legittima di essere il metodo più affidabile che l'umanità ha sviluppato per investigare la realtà empirica. Il pubblico deve riconoscere i limiti della propria competenza senza delegare acriticamente autorità epistemica agli esperti.

Questa riconfigurazione reciproca richiede coraggio intellettuale: gli scienziati devono accettare maggiore vulnerabilità comunicando apertamente incertezza e limiti; il pubblico deve tollerare maggiore ambiguità rinunciando alla ricerca di certezze definitive. Tuttavia, tale coraggio rappresenta l'unica via sostenibile per preservare l'autorità epistemica della scienza in un'era di polarizzazione crescente e proliferazione di pseudoscienza.

La posta in gioco non è meramente accademica. Le sfide globali contemporanee — cambiamento climatico, pandemie, intelligenza artificiale, biotecnologie — richiedono cittadini capaci di navigare complessità scientifica senza cadere né in fideismo acritico né in scetticismo paralizzante. La formazione e la comunicazione scientifica hanno la responsabilità di equipaggiare le generazioni future con gli strumenti cognitivi, epistemologici ed etici necessari a tale navigazione. Il fallimento in questo compito non è opzione accettabile.

NOTA BIBLIOGRAFICA

La presente monografia si fonda su un corpus interdisciplinare di letteratura accademica che integra contributi dalla filosofia della scienza, dalla sociologia della conoscenza, dagli studi sulla comunicazione scientifica, dalla psicologia cognitiva e dalle Science and Technology Studies (STS). Le fonti possono essere organizzate tematicamente come segue:

Epistemologia e Filosofia della Scienza. L'analisi del dibattito Popper-Kuhn si basa principalmente su Karl R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (1959), e Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (1962), opera seminale che ha rivoluzionato la comprensione della dinamica scientifica. Il volume collettaneo *Criticism and the Growth of Knowledge*, edito da Imre Lakatos e Alan Musgrave (1970), raccoglie i contributi del celebre colloquio londinese del 1965 e rimane testo imprescindibile per comprendere le tensioni tra falsificazionismo e relativismo paradigmatico.

La teoria della theory-ladenness dell'osservazione trova la sua formulazione classica in Norwood Russell Hanson, *Patterns of Discovery* (1958), mentre Thomas Nagel, *The View from Nowhere* (1986), offre un'analisi filosofica raffinata dell'impossibilità di trascendere completamente la prospettiva situata. George Lakoff e Rafael E. Núñez, *Where Mathematics Comes From* (2000), forniscono un'argomentazione provocatoria sull'embodiment cognitivo persino della matematica.

Sociologia della Conoscenza Scientifica. Il Programma Forte della Edinburgh School è esposto sistematicamente in David Bloor, *Knowledge and Social Imagery* (1976), testo fondativo che applica il principio di simmetria all'analisi sociologica della conoscenza scientifica. Bruno Latour e Steve Woolgar, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts* (seconda edizione, 1986), rappresenta il capolavoro dell'etnografia di laboratorio e rimane lettura obbligatoria per comprendere i processi socio-materiali di produzione dei fatti scientifici.

Bruno Latour, *Science in Action* (1987) e *We Have Never Been Modern* (1993), sviluppano l'Actor-Network Theory e dissolvono la distinzione moderna tra natura e cultura. Ian Hacking, *The Social Construction of What?* (1999), offre una critica equilibrata del costruttivismo radicale distinguendo usi legittimi e illegittimi dell'idioma costruttivista.

Comunicazione dell'Incertezza Scientifica. L'analisi empirica della comunicazione dell'incertezza si basa su Anne Marthe van der Bles e colleghi, «Communicating uncertainty about facts, numbers and science», *Royal Society Open Science* (2019), rassegna interdisciplinare che struttura framework teorico e evidenze empiriche. Lo stesso gruppo di ricerca ha pubblicato «The effects of communicating uncertainty on public trust in facts and numbers», *PNAS* (2020), studio sperimentale che falsifica l'assunto secondo cui trasparenza sull'incertezza minerebbe fiducia pubblica.

Abel Gustafson e Ronald E. Rice, «A review of the effects of uncertainty in public science communication», *Public Understanding of Science* (2020), forniscono meta-analisi di 48 studi sperimentali, evidenziando come incertezza tecnica quantificata produca effetti positivi o neutri mentre solo incertezza come disaccordo produca effetti negativi.

Deficit Model e Public Engagement. La critica sistematica del modello del deficit trova formulazione in Patrick Sturgis e Nick Allum, «Science in society: Re-evaluating the deficit model of public understanding», *Public Understanding of Science* (2004). Molly J. Simis e colleghi, «The lure of rationality: Why does the deficit model persist in science communication?», *Public Understanding of Science* (2016), analizzano le cause della persistenza paradossale del deficit model nonostante falsificazioni empiriche sistematiche.

John C. Besley e Anthony Dudo, «Beyond the deficit model: The ambassador approach to public engagement», *BioScience* (2019), propongono alternative dialogiche orientate alla costruzione di relazioni autentiche piuttosto che al trasferimento unidirezionale di conoscenza.

Crisi dell'Expertise. Tom Nichols, *The Death of Expertise: The Campaign Against Established Knowledge and Why It Matters* (Oxford University Press, 2017; seconda edizione aggiornata 2024), documenta la convergenza di fattori — internet, modello cliente-consumatore nell'istruzione, trasformazione dei media — che alimentano egualitarismo intellettuale narcisistico e svalutazione dell'expertise genuina.

Teoria della Comunicazione e Psicologia Cognitiva. George Lakoff e Mark Johnson, *Metaphors We Live By* (1980), dimostrano come frame cognitivi influenzino profondamente la percezione e il ragionamento. Andy Clark, *Surfing Uncertainty* (2016), presenta la teoria predittiva del cervello rilevante per comprendere bias cognitivi nella ricezione di informazioni scientifiche.

Applicazioni e Casi di Studio. L'analisi delle implicazioni della teoria dei programmi di ricerca di Lakatos alle scienze sociali in John A. Vasquez, «The Perils of Paradigm Mentalities: Revisiting Kuhn, Lakatos, and Popper», *Perspectives on Politics* (2010), illustra come mentalità paradigmatiche possano ostacolare progresso scientifico. Neil Ashby, «Relativity in the Global Positioning System», *Living Reviews in Relativity* (2003), fornisce caso paradigmatico dell'applicazione pragmatica di teorie relativistiche.

Questa monografia ha cercato di integrare tali contributi disciplinari diversi in una narrazione coerente che documenti la frattura epistemologica tra scienza, formazione e divulgazione, ne analizzi le radici filosofiche e sociologiche, e proponga strategie concrete per risolverla attraverso epistemologia dell'umiltà, comunicazione trasparente dell'incertezza, e formazione scientifica metacriticamente consapevole.