

Call for papers:
"Reinventare la Scienza"

Ripensare la scienza? Su alcuni fraintendimenti e su un punto fermo

*Rethinking science?
On some misunderstandings
and on a fixed point*

GIOVANNI BONIOLO
gio.boniolo@gmail.com

AFFILIAZIONE
già Università degli Studi di Ferrara
giovanniboniolo.it

SOMMARIO

Ripensare la scienza comporta comprendere che cosa essa sia oggi e che cosa dovrebbe essere una volta ripensata. Dopo aver richiamato forse il primo momento nella storia della riflessione sulla scienza che si è occupato in modo esplicito della sua definizione, si passa ad analizzare il tema della riproducibilità e del controllo intersoggettivo, specie da parte dei pari. Si mostrerà che la cosiddetta *crisi della riproducibilità* è, in realtà, qualcosa di totalmente fisiologico e che, forse, si dovrebbe parlare di *consapevolezza della riproducibilità*. Tutto ciò permetterà di argomentare che non è necessario ripensare la scienza quanto difenderla, il che comporta fornire maggiore informazione metodologica anche alla gente comune.

PAROLE CHIAVE

Riproducibilità
Controllo intersoggettivo
Fiducia nella scienza
Educazione scientifica

ABSTRACT

Rethinking science requires understanding what it is today and what it should become once rethought. After recalling perhaps the first moment in the history of reflection on science that explicitly addressed its definition, the discussion turns to the themes of reproducibility and intersubjective control, especially by peers. It will be shown that the so-called reproducibility crisis is, in fact, entirely physiological, and that it might be more accurate to speak of an awareness of reproducibility. All this will make it possible to argue that science does not need to be rethought so much as defended — which entails providing greater methodological information also to the general public.

KEYWORDS

Reproducibility
Intersubjective control
Trust in science
Scientific education

DOI: 10.53267/20250102



Ripensare
la scienza?

Call for papers:
"Reinventare la
Scienza"

Volume 10 ■ 2025

theFuture
ofScience
andEthics

29

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, anche a causa dell'anti-scientismo dilagante - in particolare sui social media -, si è cominciato a parlare della necessità di reinventare o ripensare la scienza¹. Tuttavia, un simile tentativo richiede comprendere che cosa sia stata la scienza, che cosa sia oggi e se ciò che è stata e ciò che è ora siano ancora sufficienti o utili.

A questo proposito, è importante sottolineare che nella storia della riflessione sulla scienza non sono stati molti i momenti in cui si è cercato esplicitamente di problematizzarne la natura, nel tentativo di definirne i tratti identitari. Secondo gli storici della filosofia della scienza, il primo vero tentativo di affrontare in modo esplicito questa tematica si ebbe con il movimento metodologico che accompagnò l'ascesa del pensiero popperiano, al tramonto del neopositivismo logico europeo. Del resto, né i neopositivisti né i grandi scienziati che, fino alla Seconda Guerra Mondiale, avevano riflettuto sul ruolo della scienza e sul suo impatto conoscitivo, etico e sociale, si erano mai posti in modo esplicito tale problema².

Con la fine del popperismo, è venuto meno anche il grande interesse per la questione identitaria della scienza, almeno nella forma in cui essa era stata posta³. Questo tema, tuttavia, sembra essere riemerso negli ultimi anni, seppure spesso in forme poco concettualizzate, soprattutto nel contesto della cosiddetta "crisi della riproducibilità", ma anche quando si pensa alla possibilità di pubblicare risultati non supportati da dati adeguati, e, in modo più eclatante, nel corso del più ampio e organizzato attacco alla scienza che si sia mai visto nella sua storia: quello portato avanti da Donald Trump e dalla sua amministrazione. Ma andiamo con ordine.

Nel prossimo paragrafo, ricostruirò brevemente l'ascesa e la caduta del popperismo, ovvero dell'approccio logico che, probabilmente per la prima volta nella storia della riflessione scientifica, si è concentrato esplicitamente sulla domanda: *che cos'è scienza?* L'abbandono della via logica, reso necessario dal riconoscimento dei limiti dell'approccio del filosofo austriaco, ha aperto la strada a tentativi di rivalutazione di valori extra-scientifici, già peraltro discussi da quei numerosi scienziati, soprattutto europei, che si erano occupati di tematiche epistemologiche prima della Seconda Guerra Mondiale. Per

ragioni di spazio, non mi soffermerò sulla storia di questi tentativi di ripensare la demarcazione in termini valoriali, che possono comunque essere ricostruiti attraverso i lavori di D. Fernandez-Beanato, S.O. Hansson e H. Bennett e W. Torsten⁴.

Passerò poi a un paragrafo in cui tratterò direttamente il tema della riproducibilità dei risultati, cercando di mostrare come proprio in essa risieda uno dei tratti distintivi che da sempre caratterizzano la scienza e che, quindi, possono aiutarci a demarcarla da ciò che non è. Parlare di riproducibilità, come mostrerò, significa inevitabilmente parlare di intersoggettività, di comunità di pari e, quindi, del carattere sociale della scienza. Questo, naturalmente, non è un tema nuovo: il rapporto tra scienza e società è stato oggetto di riflessione sia in ambito epistemologico sia sociologico fin dalla metà dell'Ottocento. Non è questa la sede per ripercorrerne l'intera evoluzione storica, ma è sufficiente ricordare che si tratta di una tradizione di pensiero lunga oltre un secolo.

Il dibattito sulla riproducibilità e il fraintendimento sulla sua cosiddetta crisi mi offrirà l'occasione per sostenere che non ha molto senso parlare di ripensare o reinventare la scienza, anche perché non è affatto chiaro quale forma essa dovrebbe o potrebbe assumere. Ha invece molto più senso difenderla — soprattutto sul piano metodologico — in un mondo che, da un lato, sembra aver dimenticato la sua storia concettuale e, dall'altro, è immerso in un mare di irrazionalità alimentata dai social media, dove molti finiscono per affogare, incapaci di distinguere tra notizie vere e false.

Tutto ciò rende necessario un grande sforzo educativo: forse solo insegnando che cosa sia realmente la scienza possiamo cominciare a difenderla da frodi, abusi, attacchi, mistificazioni e fraintendimenti. La divulgazione scientifica è importante. La comunicazione scientifica è importante. Ma, forse, l'insegnamento della metodologia scientifica è ancora più fondamentale, poiché può fornire ai cittadini gli strumenti per riconoscere le fake news, soprattutto in ambito biomedico, e contribuire così a migliorare la qualità della loro vita, di quella dei loro cari e dell'intera comunità⁵. E questo dovrebbe essere un punto fermo.

UN PO' DI STORIA PER NON DIMENTICARE

Nel 1921, M. Schlick fu nominato alla cattedra che era stata di E. Mach presso l'Università di Vienna. Attorno alla sua figura si coagulò un gruppo eterogeneo di studiosi, provenienti tanto dalle scienze naturali quanto dalle discipline umanistiche, accomunati dall'interesse per l'analisi dei fondamenti epistemologici della conoscenza scientifica. Tale gruppo, inizialmente costituitosi sotto il nome di *Verein Ernst Mach* e successivamente noto come *Wiener Kreis*, fece il suo ingresso ufficiale nella scena filosofica nel 1929, con la pubblicazione del manifesto *Wissenschaftliche Weltauffassung. Der Wiener Kreis*, redatto da O. Neurath, H. Hahn e R. Carnap.

Parallelamente, a Berlino, J. Petzold promosse la formazione di un altro circolo di riflessione filosofica, denominato *Gesellschaft für positivistische Philosophie*, che in seguito assunse il nome di *Gesellschaft für empirische Philosophie*.

Da queste esperienze prese avvio il movimento filosofico noto come neopositivismo logico (o empirismo logico). Sebbene frequentemente rappresentato come un blocco unitario, coerente sia nelle posizioni teoriche sia negli intenti culturali, un'analisi storiografica più fine consente di individuare significative articolazioni interne. È il caso, per esempio, della presenza di elementi riconducibili alla tradizione kantiana nel pensiero di alcuni esponenti del movimento, come Schlick e H. Reichenbach, a fronte di un orientamento generale che affondava le sue radici soprattutto nell'empirismo humeano.

In tal senso, due problematiche assunsero un rilievo centrale: i) la distinzione tra *enunciati analitici* — la cui verità è indipendente dall'esperienza ed è fondata esclusivamente sul significato dei termini — ed *enunciati sintetici* — la cui verità dipende, invece, da dati empirici; ii) l'esigenza di un *criterio di significanza conoscitiva*, secondo cui gli enunciati che non sono né analitici né empiricamente verificabili devono essere esclusi dall'ambito del discorso conoscitivo legittimo.

Per i neopositivisti, l'analisi logica del linguaggio costituiva lo strumento privilegiato per verificare la significanza degli enunciati, poiché rendeva possibile, da un lato, chiarire le relazioni sintattiche e semantiche tra proposizioni, e dall'altro, tracciare il nesso

tra linguaggio ed esperienza empirica. Questa prospettiva metodologica segnò un momento di discontinuità radicale nella tradizione filosofica, come esemplarmente espresso nel titolo di un saggio di Schlick del 1930: "Die Wende der Philosophie"⁶. La filosofia concepita in questo modo si trasformava in un'attività logica finalizzata a determinare se un dato enunciato fosse conoscitivamente significativo. I neopositivisti non si limitarono a proporre un metodo per chiarire lo statuto di certi enunciati, ma lo applicarono concretamente nelle loro critiche filosofiche, come mostrano gli attacchi di Carnap alle teorie di M. Heidegger⁷ e di C.G. Hempel alla psicologia⁸.

Tuttavia, l'idea della filosofia come attività chiarificatrice basata sulla logica non era del tutto nuova essendo già stata proposta in un'opera che i neopositivisti ritenevano fondamentale, sebbene l'autore non ne apprezzasse l'interesse⁹. Si tratta del *Tractatus logico-philosophicus* di L. Wittgenstein (si vedano le proposizioni 4.112 e 4.2¹⁰).

Per quanto concerne il criterio di significanza, nella sua fase iniziale — che si estende approssimativamente fino al 1934-1935 — esso fu formulato secondo un'impostazione di verificazione "forte". In base a tale formulazione, un enunciato non analitico è da considerarsi conoscitivamente significativo solo se può essere verificato in modo conclusivo come vero o falso attraverso l'esperienza empirica. Da ciò discendeva l'esclusione dal dominio del discorso scientificamente legittimo di tutti gli enunciati non verificabili, inclusi quelli afferenti all'etica, alla psicologia introspezioneistica e, in particolare, alla metafisica, considerati privi di significato conoscitivo.

Tuttavia, tale posizione si rivelò ben presto eccessivamente restrittiva e fonte di numerose difficoltà teoriche. A partire dal 1934-1935, si delineò una seconda fase, contrassegnata dall'elaborazione di criteri di significanza più articolati e meno rigidi, volti a superare le criticità del modello originario. Questa evoluzione teorica fu bruscamente interrotta dall'ascesa del nazismo, che segnò la dissoluzione del movimento neopositivista in Germania e in Austria e diede inizio a una diaspora intellettuale. Numerosi esponenti del Circolo di Vienna e dei gruppi affini trovarono rifugio negli Stati Uniti, dove contribuirono alla riformulazione e allo sviluppo di una nuova versione del neopositivismo. Tale rinnovamento culminò nella

cosiddetta *standard view* in filosofia della scienza, autorevolmente sistematizzata nel celebre volume di Ernest Nagel, *The Structure of Science* (1961)¹¹.

La revisione del criterio forte di significanza nacque dalla necessità di rispondere alle critiche contenute in due opere del 1934, rispettivamente di C.I. Lewis, autore di "Experience and Meaning"¹², e di K.R. Popper, che pubblicò *Logik der Forschung*¹³. Sebbene questi autori avessero interagito solo marginalmente con i neopositivisti, le loro obiezioni stimolarono una reazione da parte di Schlick e Carnap, che, nel 1936, pubblicarono, rispettivamente, "Meaning and Verification"¹⁴ e "Testability and Meaning"¹⁵. Tali scritti non costituiscono semplici repliche, ma segnarono l'avvio di due importanti sviluppi all'interno del neopositivismo. Da un lato, Schlick — influenzato dalla filosofia del "secondo" Wittgenstein — riformulò il criterio di verifica, associandolo alla nozione di significato come uso. Dall'altro, Carnap abbandonò l'idea di una verifica conclusiva, sostituendola con il concetto di conferma, aprendo così la strada a una concezione più flessibile dell'empirismo logico. La prima direzione non ebbe ulteriore sviluppo, in gran parte a causa dell'assassinio di Schlick da parte di un simpatizzante nazista nel 1936. La seconda, invece, si rivelò decisiva per la nascita e la diffusione del post-positivismo nel contesto statunitense. Accanto a queste due traiettorie si affermò, soprattutto in Europa, una terza proposta teorica: quella di Popper.

L'opera principale di Popper del 1934 presentava un impianto concettuale nettamente distinto da quello dei neopositivisti. Per Popper, il problema epistemologico centrale non era costituito dal criterio di significanza — in particolare se fondato sulla verificabilità empirica — bensì dalla questione della scientificità. Vale la pena sottolineare che Popper non fu mai parte del Circolo di Vienna, né vi fu formalmente invitato, pur avendo vissuto a Vienna durante il suo periodo di massima attività. Mantenne comunque rapporti intellettuali con alcuni suoi membri, tra cui V. Kraft e H. Feigl. Fu quest'ultimo a sollecitarlo a mettere per iscritto le sue idee epistemologiche. Ne nacque *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie*, un'opera letta e discussa da Carnap, Schlick, Frank, Hahn e Neurath. Nel 1933, Schlick e Frank accettarono il testo per la pubblicazione nella collana ufficiale del Circolo, *Schriften zur wissenschaftlichen*

Weltauffassung. Tuttavia, a causa dell'eccessiva lunghezza, l'editore Springer decise di pubblicarne solo una sezione, che apparve nel 1934 con il titolo *Logik der Forschung*.

Con l'avvento del nazismo, l'opera fu rapidamente dimenticata, fino alla pubblicazione della versione inglese ampliata nel 1959, *The Logic of Scientific Discovery*, che segnò un punto di svolta, almeno nel contesto filosofico britannico ed europeo. La tesi centrale dell'opera consisteva nel rifiuto della centralità del concetto di significanza, e con esso della verifica, a favore dell'elaborazione di un *criterio di demarcazione* tra scienza e non-scienza. Tale criterio, secondo Popper, doveva poter distinguere gli enunciati scientifici senza necessariamente svalutare quelli non scientifici sul piano epistemico o esistenziale.

La proposta di Popper nasceva dalla consapevolezza delle difficoltà intrinseche del verificazionismo, legate in particolare al problema dell'induzione, che egli riteneva logicamente infondato. Di conseguenza, Popper suggeriva di abbandonare la prospettiva induttiva e interrogarsi invece su come sia possibile caratterizzare in modo rigoroso la scienza empirica, distinguendola dalla metafisica. La risposta, a suo avviso, risiedeva nel concetto di *falsificabilità*: un sistema teorico T può dirsi scientifico solo se è possibile derivarne conseguenze empiriche C — enunciati osservativi o asserzioni di base — suscettibili di essere messe alla prova e potenzialmente confutate dall'esperienza. In termini logici, ciò equivaleva all'applicazione della legge di inferenza chiamata *modus tollendo tollens*, già nota fin dai tempi di Aristotele e ripresa nella logica medievale. In sintesi, Popper sostituì alla coppia significanza-verifica la nuova coppia scientificità-falsificabilità.

Le idee popperiane non conobbero un'immediata diffusione, ma iniziarono a guadagnare attenzione, in particolare nel Regno Unito e in parte dell'Europa continentale, dopo la Seconda Guerra Mondiale, quando Popper fece ritorno dal suo esilio in Nuova Zelanda e diede avvio alla sua carriera accademica a Londra. L'edizione inglese del 1959 di *The Logic of Scientific Discovery* segnò una svolta, generando numerosi seguaci, soprattutto nel mondo accademico anglosassone. Tuttavia, con la pubblicazione nel 1976 di alcuni saggi critici di A. Grünbaum, emersero con chiarezza le principali debolezze della proposta popperiana: da un lato,

l'incapacità di trattare efficacemente enunciati probabilistici; dall'altro, una certa ingenuità epistemologica, dovuta alla sottovalutazione delle dinamiche concrete della scienza, incluse le sue dimensioni storiche, istituzionali e sociologiche.

Non mi soffermerò né sulla critica mossa da Grünbaum¹⁶, né su quella relativa all'inadeguatezza del criterio di falsificabilità nell'ambito degli enunciati probabilistici¹⁷. Resta tuttavia il fatto che, a partire dalla fine degli anni Settanta, l'interesse nei confronti dell'approccio metodologico popperiano andò progressivamente attenuandosi, anche tra i suoi seguaci. In Italia si assistette a una forma di ricezione tardiva e perlopiù acritica, da parte di studiosi che, ignorando il dibattito epistemologico internazionale, continuarono per decenni a esaltare l'opera di Popper, spesso in chiave dogmatica e decontestualizzata¹⁸.

Con il tramonto del popperismo, diminuí pressoché del tutto l'interesse per la questione della demarcazione formale tra scienza e non-scienza. Si cominciò così ad abbandonare l'idea di poter definire in modo univoco, e tramite strumenti logico-formali, la sua natura. A partire dagli anni Sessanta e Settanta, infatti, emersero nuovi orientamenti epistemologici che misero in crisi l'intero impianto normativo dell'empirismo logico e del falsificazionismo.

Da un lato, il programma metodologico di I. Lakatos cercò di conciliare l'istanza critica di Popper con la dimensione storica introdotta da T. Kuhn, proponendo un modello basato su *programmi di ricerca* in competizione, piuttosto che su singole teorie isolabili e falsificabili. Dall'altro, la posizione radicale di P. Feyerabend giunse a negare la possibilità di fondare la scienza su un unico metodo razionale e universale, sostenendo che nella pratica scientifica "anything goes" possa rivelarsi più descrittivamente accurato del rigore normativo tradizionale¹⁹.

A ciò si aggiunsero, negli anni Ottanta e Novanta, le prospettive sviluppate nell'ambito della sociologia della conoscenza scientifica e dei *Science and Technology Studies* (STS), rappresentate in modo emblematico da autori come B. Latour e S. Woolgar. Tali approcci cercarono di mostrare l'impossibilità di separare nettamente i contenuti scientifici dai loro contesti storici, istituzionali, linguistici e tecnologici, volendo così dissolvere, con tutte le conseguenze intuitive-

mente non sempre felici di un eventuale successo, l'idea stessa di un confine epistemico rigido tra scienza e non-scienza.

In questo nuovo scenario, l'interesse filosofico si spostò dalla definizione astratta della scientificità verso l'analisi delle pratiche effettive della ricerca scientifica, dei suoi meccanismi di legittimazione e delle sue dinamiche sociali e culturali. Ed è proprio qui che è iniziato a maturare, ma soprattutto in ambito scientifico, il rinnovato interesse per il tema della riproducibilità.

RIPRODUCIBILITÀ, LA SUA CRISI E I PARI

Nel 2012 si aprì un acceso dibattito a seguito dell'annuncio della modifica, in laboratorio, del virus H5N1 dell'influenza aviaria. Due gruppi di ricerca — uno guidato da R. Fouchier dell'Erasmus Medical Centre di Rotterdam e l'altro da Y. Kawaoka dell'University of Wisconsin-Madison — avevano sottoposto due studi indipendenti su una variante modificata del virus alle riviste *Science* e *Nature*.

Il National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB), organismo statunitense afferente ai National Institutes of Health (NIH) e finanziatore dello studio sulla trasmissibilità del virus, dopo aver esaminato i manoscritti, raccomandò — senza imporlo — agli autori e ai direttori delle riviste di procedere con la pubblicazione dei risultati omettendo però dati e metodologie che avrebbero potuto consentire la riproduzione degli esperimenti, specialmente da parte di potenziali bioterroristi.

Questo intervento sollevò un dibattito ampio e complesso. Occorre anzitutto rilevare come la questione fosse già emersa in una fase troppo avanzata del processo: i manoscritti avevano infatti già suscitato l'interesse delle riviste, il che implicava che almeno gli editori avessero avuto accesso al contenuto integrale degli studi. Inoltre, Fouchier aveva già presentato pubblicamente i dati in occasione di una conferenza, rendendo la situazione ancora più delicata. L'intervento del NSABB apparve dunque tardivo, poiché l'informazione riservata era già, di fatto, in circolazione.

Tuttavia, la raccomandazione di non divulgare i dati e i protocolli sperimentali merita un'attenta riflessione. Censurare tali elementi equivale infatti a compromettere la riproducibilità dei risultati e, con essa, la possibilità di un controllo intersoggettivo da

parte della comunità scientifica. La riproducibilità — affidata ai *pari*, ossia a coloro che dispongono delle competenze e delle risorse tecniche necessarie per replicare gli esperimenti — rappresenta, almeno da quando è nata la scienza moderna, un cardine essenziale della pratica di ricerca, garantendo la validità e la trasparenza delle conoscenze prodotte.

Di fatto, si stava mettendo in discussione una delle caratteristiche fondative della scienza. Pur senza esplicitarlo concettualmente, il dibattito tornava a interrogarsi — in forma carsica — su che cosa sia la scienza e se il suo statuto epistemologico debba essere ripensato. In effetti, difendere la riproducibilità significava difendere un'idea di scienza che, fin dalle sue origini moderne — emblematicamente individuate nella figura di Galileo Galilei²⁰ — si era fondata proprio su questo cardine²¹. Tra l'altro la riproducibilità è il necessario prologo metodologico del controllo intersoggettivo. Fortunatamente, quella discussione finì con la decisione di pubblicare dati, metodo e risultati sia del lavoro di Fouchier²², sia di quello di Kawaoka²³. Una conclusione positiva perché, ripeto, se si fosse abbandonata la riproducibilità sarebbe caduta anche la possibilità del controllo intersoggettivo e il carattere sociale che la scienza aveva sempre avuto.

In letteratura si fa riferimento sia alla *replicabilità* sia alla *riproducibilità* dei risultati, ma le definizioni di questi due concetti non sono sempre univoche. Spesso, infatti, i rispettivi *definitiva* vengono utilizzati in modo intercambiabile, generando una certa ambiguità terminologica.

Qui per *replicabilità* intendo la possibilità di ottenere lo stesso risultato da parte dello stesso ricercatore, utilizzando la medesima procedura sperimentale e la stessa tecnologia, nello stesso laboratorio, ma in tempi diversi. Per *riproducibilità*, invece, intendo la possibilità di ottenere un risultato analogo da parte di ricercatori differenti, anche adottando procedure sperimentali e tecnologie diverse, in contesti laboratoriali differenti e in momenti differenti.

Un esempio paradigmatico di risultato *riproducibile* in questo senso è rappresentato dall'equivalenza numerica tra massa gravitazionale e massa inerziale, che è stata confermata lungo un arco temporale di oltre quattro secoli, attraverso metodologie e strumenti tecnologici profondamente differenti²⁴.

Ho evidenziato come sia la riproducibilità a consentire un controllo intersoggettivo da parte della comunità dei pari. Questo elemento rivela in modo chiaro che la scienza non può essere concepita come un'impresa individuale, affidata a pochi eletti operanti isolatamente e senza supervisione — un'idea già sottolineata da numerosi autori a partire dalla seconda metà dell'Ottocento. E infatti proprio la riproducibilità a rendere possibile l'autocorrezione collettiva della scienza: essa consente di scartare ipotesi errate e teorie non empiricamente valide, ovvero quelle che non permettono di riprodurre i risultati precedentemente ottenuti.

In relazione al caso H5N1 sopra menzionato, nel 2012 B. Huberman, in una lettera pubblicata su *Nature*, richiamò l'attenzione sul fatto che in alcuni ambiti delle scienze sociali i dati utilizzati — provenienti da fonti aziendali quali Google, Facebook e Twitter — non vengono resi accessibili, ponendo così seri limiti alla possibilità di controllo e riproduzione degli studi²⁵. Inoltre, una meta-analisi intitolata "Public Availability of Published Research Data in High-Impact Journals", pubblicata nel 2011 in *PLoS ONE*²⁶, evidenzia come, nonostante le linee guida editoriali, molti articoli pubblicati sulle principali riviste biomediche omettessero totalmente o parzialmente i dati.

Alcuni potrebbero sostenere che esistono motivazioni legittime legate alla sicurezza, alla concorrenza economica, alla tutela della privacy e della proprietà intellettuale che giustificano la non divulgazione di dati e metodi. Tuttavia, una tale posizione rischia di trascurare le implicazioni profonde che essa comporta: in queste condizioni, la scienza — intesa nel senso che ha visto Galilei come icona — è destinata a perdere i suoi fondamenti metodologici e, in ultima analisi, a dissolversi come impresa collettiva orientata alla verifica e alla trasparenza.

È in questo contesto che, già nell'agosto del 2005, venne pubblicato un articolo destinato a suscitare un ampio e acceso dibattito all'interno delle comunità scientifiche e tra gli enti che le finanziano e regolano. Si tratta del contributo di J.P.A. Ioannidis, apparso su *PLOS Medicine*, dal titolo significativamente provocatorio: "Why Most Published Research Findings Are False". L'autore vi sosteneva, sulla base di un'analisi statistica e metodologica rigorosa, che una quota considerevole delle ricerche pubblicate fosse in realtà

non attendibile o non riproducibile, sollevando interrogativi cruciali sulla qualità e sull'affidabilità della produzione scientifica contemporanea²⁷. Il problema sollevato da Ioannidis era, in realtà, latente da tempo, ma il suo articolo contribuì a farlo emergere in tutta la sua evidenza: un numero significativo di risultati scientifici non è riproducibile. L'attenzione critica di Ioannidis si concentrò in particolare sugli studi nei campi della psicologia e della medicina, ma ben presto si comprese che la cosiddetta *crisi della riproducibilità* interessava, sia pur in misura minore, anche altre discipline scientifiche.

Nel 2016, la rivista *Nature* pubblicò un'inchiesta condotta da M. Baker, volta a sondare la percezione della crisi della riproducibilità all'interno delle comunità scientifiche. I risultati furono sorprendenti: il 70% dei 1.576 ricercatori intervistati dichiarò di aver tentato, senza successo, di replicare gli esperimenti condotti da colleghi, e il 50% ammise di non essere riuscito a riprodurre nemmeno i propri esperimenti.

Particolarmente allarmante fu il dato relativo alla scarsa consapevolezza metodologica della gravità del fenomeno: sebbene il 52% degli intervistati riconoscesse l'esistenza di una crisi di riproducibilità, soltanto il 31% riteneva che l'impossibilità di riprodurre un risultato pubblicato fosse indicativa della sua possibile falsità. Ciò evidenzia un paradosso culturale e scientifico: la mancanza di riproducibilità, pur ampiamente riconosciuta, non viene sempre interpretata come sintomo di invalidità epistemica del risultato²⁸. Dicendola diversamente, i dati riportati da Baker mostrarono una disarmante e preoccupante insensibilità metodologica da parte dei ricercatori, forse dovuta anche a una mancanza di una preparazione adeguata durante gli studi di formazione.

A partire da quegli anni, si è sviluppato un vivace dibattito, soprattutto in ambito scientifico, intorno alle cause della mancanza di riproducibilità nella ricerca scientifica, alle sue conseguenze e alle possibili strategie per affrontarla. Tuttavia, pochi hanno sottolineato come tale discussione implichi, in modo implicito ma sostanziale, una riflessione su come la scienza venga effettivamente condotta e su come dovrebbe essere condotta. Si tratta, in ultima analisi, di un dibattito sulla natura stessa della scienza, e dunque di un dibattito eminentemente epistemologico e metodologico, appartenente a pieno titolo al campo della filosofia della

scienza.

Tornando alla cosiddetta *crisi della riproducibilità*, le sue conseguenze appaiono piuttosto evidenti. Da un lato, essa mina la credibilità della scienza presso l'opinione pubblica, generando sfiducia nella validità dei risultati scientifici. Dall'altro lato, essa comporta implicazioni particolarmente gravi in ambito biomedico e clinico. Basti pensare che lo sviluppo di un farmaco richiede investimenti dell'ordine di centinaia di milioni di dollari o euro; è dunque fondamentale che tali risorse non vengano destinate a linee di ricerca basate su dati biologici o biomedici non riproducibili.

Le cause della non riproducibilità sono molteplici e complesse. Vi possono essere frodi che possono comportare risultati non riproducibili, come nel caso devastante della falsa correlazione fra vaccinazione e autismo dovuta ad A. Wakefield²⁹. Oppure, come nel caso dei falsi Raggi N di R.P. Blondot³⁰ e dell'inesistente memoria dell'acqua di J. Benveniste³¹, vi possono essere degli errori sia nell'appuntamento dell'apparato osservativo o sperimentale sia nella raccolta dati. Ancora, la non riproducibilità può essere dovuta a un'errata interpretazione statistica dei dati raccolti e una loro errata interpretazione clinica o scientifica. C'è, ovviamente, anche il problema della fretta di pubblicare per arrivare prima dei concorrenti, magari per avere più possibilità di accedere a fondi di ricerca o per fare carriera. E questa fretta può portare a superficialità ossessive e sperimentali oppure a cadere, in buona o mala fede, nel *bias della conferma*, ossia in quella distorsione cognitiva per la quale si va alla ricerca di dati che confermano la propria ipotesi e quando si pensa di averli trovati ci si ferma e ci si accontenta, magari anche cancellando o nascondendo quelli che sono contrari.

Come è possibile arginare la crisi della riproducibilità? Una possibile risposta potrebbe consistere nel ridurre la pressione esercitata sui singoli ricercatori, spesso sottoposti a logiche competitive e produttivistiche; un'altra potrebbe risiedere nella promozione di una maggiore integrità scientifica. Ma forse, ancor più radicalmente, forse occorrerebbe formare gli scienziati fin dalle prime fasi del loro percorso a una solida comprensione dei fondamenti metodologici e filosofici della scienza, aiutandoli a comprendere che, in assenza di riproducibilità, ciò che stanno praticando non può essere definito *scienza* — almeno non nel senso al quale

la tradizione scientifica ci ha abituati.

Ci troviamo, in effetti, di fronte a un bivio epistemologico, già segnalato in relazione al caso del virus H5N1: o si continua a praticare la scienza secondo il paradigma tradizionale, che prevede la trasparenza nella condivisione dei dati e la possibilità di riprodurre i risultati ottenuti, oppure si intraprende un nuovo percorso metodologico — ossia un ripensamento metodologico — le cui direzioni future appaiono ancora in gran parte sconosciute.

Va inoltre osservato che, storicamente, soprattutto nei settori della biomedicina e della psicologia, si è prestata scarsa attenzione alla riproduzione indipendente dei risultati ottenuti da altri gruppi di ricerca. Ciò è dovuto, in parte, al fatto che i finanziamenti sono stati quasi esclusivamente orientati verso ricerche originali, piuttosto che verso studi di controllo e riproduzione di risultati già noti. Esempi come quello citato in precedenza — l'equivalenza numerica tra massa inerziale e massa gravitazionale, confermata lungo quattro secoli — costituiscono, in effetti, eccezioni estremamente rare.

Fortunatamente, la crescente consapevolezza dell'importanza della riproducibilità ha portato alla nascita di numerose iniziative internazionali. Tra queste si annovera il *Reproducibility Project: Psychology*, promosso dal Center for Open Science di Charlottesville (Virginia), un consorzio che coinvolge circa 270 ricercatori impegnati nella replica di esperimenti psicologici. Vi è poi la *Reproducibility Initiative*, che si propone di identificare e premiare risultati riproducibili attraverso processi di validazione indipendente. Anche alcune fondazioni private, come la Laura and John Arnold Foundation, hanno cominciato a finanziare progetti finalizzati alla verifica di risultati già pubblicati. Analogamente, istituzioni pubbliche — come l'agenzia per la ricerca danese — hanno avviato programmi esplicitamente dedicati alla riproduzione scientifica.

Questa nuova consapevolezza presenta, tuttavia, un aspetto paradossale. Nel 2017, nel primo numero della rivista *Nature Human Behaviour*, fu pubblicato un articolo intitolato "A Manifesto for Reproducible Science", volto a sostenere la causa della riproducibilità. Tuttavia, la necessità stessa di un "manifesto" a favore di una scienza riproducibile risulta problematica: la riproducibilità non è un valore accessorio, ma una

condizione costitutiva della scienza come tale. Senza di essa, semplicemente, non si può parlare di scienza nel senso pieno del termine, o almeno di come la si conosce finora.

Un'ulteriore dimostrazione della centralità della riproducibilità è data dai casi di ritiro di articoli scientifici ritenuti non affidabili. È noto, per esempio, il caso del lavoro di Benveniste, ritirato da *Nature*, e quello di Wakefield, rimosso da *The Lancet*. Il ritiro di un articolo è una procedura ordinaria quando si accetta che i risultati pubblicati non sono riproducibili, sia per la presenza di errori metodologici sia per sospetti di frode. La decisione può essere presa dallo stesso autore, dall'istituzione di appartenenza o dalla rivista, spesso dopo consultazione con la comunità scientifica di riferimento.

In questi anni, vi è un aumento esponenziale del numero di lavori scientifici ritirati ma questo è fisiologico e dovuto al fatto che vi è una crescita esponenziale del numero di uomini e donne che si dedicano alla ricerca scientifica³² e un parallelo aumento esponenziale del numero di lavori pubblicati³³. Ne segue che è normale che vi sia anche un aumento consequenziale del numero di lavori ritirati in quanto presentano risultati non riproducibili.

Questo, tuttavia, non deve essere pensato come un indice dell'inaffidabilità della scienza o della comunità scientifica. Al contrario, come già sottolineato più volte, deve essere interpretato come la capacità della comunità scientifica di rintracciare i cattivi lavori scientifici e i cattivi ricercatori e di metterli al bando della comunità stessa. Ovvero, è un indice della capacità autocorrettiva della comunità scientifica, della quale dovremmo fidarci anche per questo, e quindi anche un indice di un aumento della *consapevolezza della riproducibilità*.

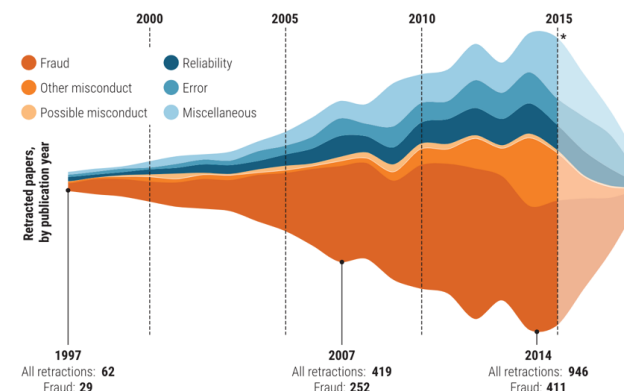
A tal proposito, giova ricordare che nei primi anni del 2000, due giornalisti scientifici, I. Oransky e A. Marcus, aprirono un sito (*Retraction Watch*) in cui hanno messo a disposizione un database con l'indicazione di più di 20.000 lavori ritirati (ce ne sono anche circa 400 avariati a che fare con il COVID 19) sia per errori non voluti sia per frode (questi ammontano al 60% dei ritiri totali). Questo sito è stato seguito con grande interesse dai redattori di una delle più importanti riviste scientifiche, ossia *Science*, che dal 2018 ne dà ampia visibilità (si veda figura³⁴).

Grazie a questo database è ora anche facile trovare i "campioni" dei lavori ritirati. Uno dei primi in questa singolare graduatoria è Y. Fujii, un anestesista della Toho University in Giappone, con più di 180 lavori ritirati e un altro è J. Boldt, un altro anestesista che lavorava presso la Klinikum Ludwigshafen in Germania, con più di 160 lavori ritirati!

La lezione che si può trarre da questa discussione è che l'idea metodologica secondo cui la scienza debba essere riproducibile si è progressivamente tradotta nella concreta domanda se i risultati presentati nelle pubblicazioni scientifiche lo siano effettivamente. Come già osservato, non dovrebbe sorprendere l'au-

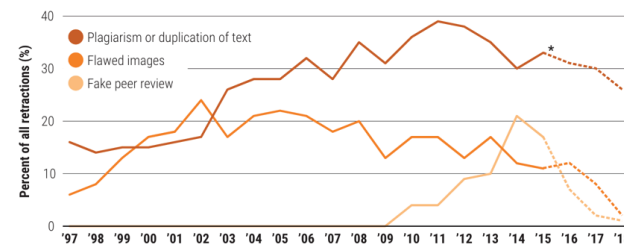
bilità" — come talvolta si afferma in modo affrettato e senza una solida base empirica — sarebbe più corretto parlare di una crescente consapevolezza del fatto che molti studi non presentano risultati riproducibili. E questa consapevolezza rappresenta, in effetti, un progresso positivo dal punto di vista metodologico.

Allo stesso tempo, il crescente numero di lavori non riproducibili dovrebbe rafforzare la percezione dell'importanza del controllo intersoggettivo esercitato dai pari. In altri termini, ciò evidenzia il ruolo essenziale di una forma di controllo sociale all'interno della comunità scientifica, che consente quella dimensione autocorrettiva cui si è fatto riferimento.



Changing infractions

The proportion of retractions involving plagiarism of text—stealing someone else's or duplicating one's own—has risen; one cause appears to be the introduction in 2004 of iThenticate, an internet-based plagiarism detection service. Fake peer reviews occur when authors give journals email addresses that they control, allowing them to review their own manuscripts. Flawed images include instances of intentional manipulation and of error.



*Retraction numbers appear to decline after 2015, but are almost certainly incomplete; journals typically take several years to publish retractions.

mento del numero di articoli ritirati, soprattutto alla luce del parallelo e significativo incremento sia delle pubblicazioni scientifiche sia del numero di ricercatori coinvolti, anche nei processi di controllo. Pertanto, più che di una "crisi della riproduci-

In definitiva, il dibattito sulla cosiddetta crisi della riproducibilità non è altro che, sotto nuove forme e spesso con scarsa elaborazione metodologica, una riproposizione del più ampio dibattito sulla natura della scienza e su ciò che essa dovrebbe essere.

Si tratta di un tema che ha messo in luce – per chi sia disposto a comprenderlo – come la riproducibilità e il controllo intersoggettivo da parte della comunità scientifica non siano semplici ideali astratti, bensì tratti costitutivi dell'impresa scientifica nella sua realtà concreta.

IL PUNTO FERMO

Si era partiti ricordando l'idea di alcuni di ripensare la scienza in ragione dei profondi mutamenti occorsi nella società contemporanea. Ho sostenuto che, per intraprendere seriamente un simile compito, sia preliminarmente necessario possedere una definizione chiara e precisa di che cosa sia, in effetti, la scienza. Non è possibile riformulare criticamente un concetto senza prima averne compreso con precisione l'identità e le caratteristiche costitutive.

Per tale ragione, ho ricostruito una delle tappe fondamentali del dibattito epistemologico del Novecento, periodo in cui per la prima volta si è problematizzata in modo sistematico la natura della scienza. Le risposte iniziali sono state prevalentemente di tipo logico-formale, fondate su uno strumento piuttosto elementare – come il *modus tollens* – peraltro molto presente ogni qual volta si voglia, anche nel vivere quotidiano, strutturare un ragionamento rigoroso.

Ho ricordato il fallimento di questo approccio, almeno nella sua pretesa di demarcare in modo definitivo il sapere scientifico dal resto, e accennato – in modo necessariamente sintetico – alla successiva apertura verso prospettive di tipo valoriale e sociologico. Tuttavia, tali orientamenti, pur offrendo spunti interessanti che hanno trovato vita in ambito soprattutto umanistico, non hanno incontrato ampio consenso in ambito scientifico, in parte a causa della loro intrinseca vaghezza concettuale.

A questo punto, ho focalizzato l'attenzione sul concetto di riproducibilità, sottolineandone il ruolo imprescindibile, purché accompagnato da due condizioni essenziali: il giudizio dei pari e la possibilità del controllo intersoggettivo. Ciò implica la trasparenza dei dati, dei risultati e dei metodi, nonché la loro accessibilità per chiunque intenda – e sia in grado di – controllarli: in ultima analisi, per la società nel suo complesso.

Ho rimarcato l'inanità di un ripensamento della scienza che non si fondi né su una comprensione adeguata del suo stato attuale, né su una chia-

ra visione degli esiti desiderati di tale riformulazione.

Al contrario, ritengo urgente e imprescindibile un ritorno allo studio e all'insegnamento della metodologia scientifica. Solo attraverso questa via è possibile comprendere quale sia lo statuto epistemologico delle informazioni che trattiamo: se esse sono affidabili perché riproducibili e controllabili, oppure se si tratti di affermazioni non sottoponibili a controllo riproducibile – e, pertanto, non scientifiche. Ciò assume un rilievo particolarmente significativo in ambito medico, dove diagnosi e terapie basate su dati riproducibili e intersoggettivamente controllati possono letteralmente salvare vite umane, mentre quelle fondate su informazioni prive di tali requisiti – ovvero di natura pseudo-scientifica – possono condurre a conseguenze fatali, come testimoniano numerosi casi concreti.

Questa è un'idea di scienza che occorre difendere. Ripensarla in termini radicalmente diversi significherebbe snaturarla, trasformandola in qualcosa che non potrebbe più fregiarsi né di quel nome né della storia che l'ha accompagnata. Certamente, la scienza, nel corso dei secoli, è stata declinata in forme diverse, variando in base al contesto socio-culturale, alle tecnologie disponibili, ai costi sostenibili, all'elaborazione di modelli sempre più sofisticati e all'uso di linguaggi formali avanzati. Tuttavia, da Galilei (pensato come simbolo di un modo di pensare e agire) in poi, due caratteristiche essenziali sono rimaste invariate: la riproducibilità interna e il controllo intersoggettivo esterno.

È su tali elementi che dovrebbe concentrarsi la nostra attenzione – non solo in ambito comunicativo e divulgativo, ma soprattutto in quello educativo. In sintesi, più che ripensare la scienza che abbiamo, dovremmo impegnarci a difenderla, insieme al suo metodo, visto che rappresenta tuttora un ambito capace di garantire riproducibilità e controllo condiviso.

Questo impegno implica anche un'opera educativa sistematica, volta a contrastare il disordine cognitivo generato dalla proliferazione di pseudo-conoscenza. Tale fenomeno ha contribuito – non come causa unica, ma sicuramente come concausa – a generare pericolose forme di ostilità verso la scienza. Un esempio emblematico è rappresentato dagli attacchi dell'amministrazione Trump a istituzioni fondamentali della ricerca e della sanità pubblica statunitense: il National Institutes of Health, la Na-

tional Science Foundation, i Centers for Disease Control and Prevention, la Food and Drug Administration, l'Environmental Protection Agency, la National Oceanic and Atmospheric Administration, l'Agency for Healthcare Research and Quality, tra le altre. Tali attacchi non possono essere considerati come tentativi di ripensamento critico, ma piuttosto come una delle offensive più coordinate e potenti mai perpetrate contro l'idea di scienza, quale si è costituita negli ultimi quattro secoli.

Una delle poche possibilità che abbiamo oggi consiste nel creare "anticorpi cognitivi" nelle nuove generazioni, più che in quelle che hanno favorito l'emersione di questi poteri e continuano a sostenerli, anche in Europa e in Italia. Dobbiamo, dunque, tornare – con umiltà ma anche con determinazione – a insegnare che cosa sia la scienza, sapendo che essa non fornisce verità assolute, ma la migliore forma di conoscenza possibile: riproducibile e intersoggettivamente controllabile.

Questo, a mio avviso, dovrebbe essere il nostro scopo: non ripensare la scienza, ma salvaguardarla attraverso l'educazione, la consapevolezza critica e la responsabilità epistemica. Questo dovrebbe costituire un principio guida irrinunciabile: un punto fermo.

NOTE

1. Cfr., per esempio, J.R. Ravetz, Z. Sardar, "Rethinking science", *Futures*, 29, 1997, pp. 467-470; H. Nowotny, P.B. Scott, M.T. Gibbons, *Re-Thinking Science: Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*, Polity Press, 2001; R. Schroeder, *Rethinking Science, Technology, and Social Change*, Stanford University Press, 2007; J. Renn, *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*, Princeton University Press 2022.

2. Si sta pensando ad autori come N. Campbell in Gran Bretagna, C. Bernard, H. Poincaré e P. Duhem in Francia, F. Enriques, V. Volterra e G. Viola in Italia, P. Bridgman negli Stati Uniti, H. Hertz, H. von Helmholtz, L. Boltzmann, E. Mach e H. Dingler in ambito austriaco-tedesco, L. Fleck in Polonia e P. Florenskij in Russia.

3. Ovvero seguendo un approccio basato sulla logica.

4. Fernandez-Beanato, D. "The Multicriterial Approach to the Problem of Demarcation", *J Gen Philos Sci* 51, 2020, pp. 375–390; Hansson, S.O., "Science and Pseudo-Science", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2021, Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/pseudo-science/>; Bennett H., Torsten W., "The new demarcation problem", *Studies in History and Philosophy of Science*, 91, 2022, pp. 211-220.

5. Cfr. G. Boniolo, *L'educazione liberale, Le arti del Trivio per il XXI secolo*, (Milano, Mondadori Università, 2024)

6. M. Schlick, "Die Wende der Philosophie", *Erkenntnis*, 1, pp. 4-11, 1930, trad. it in A. Pasquinelli, (a c. di), *Il neoempirismo*, (Torino, Utet, 1969, pp. 255-263).

7. R. Carnap, "Überwindung der Metaphysik durch logische Analyse der Sprache", *Erkenntnis*, 2, 1932, pp. 219-241, trad. it. in A. Pasquinelli (a c. di), *Il neoempirismo*, (Torino, Utet, 1969, pp. 504-532).

8. C.G. Hempel, "The Logical Analysis of Psychology", *Revue de Synthèse*, 1935; ora in H. Feigl, W. Sellars (a c. di), *Readings in Philosophical Analysis* (New York, Appleton-Century-Crofts, 1949, pp. 373-384).

9. Cfr. F. Waismann, *L. Wittgenstein und der Wiener Kreis*, Suhrkamp, 1967, trad. it. *L. Wittgenstein e il Circolo di Vienna* (Firenze, La Nuova Italia, 1975).

10. L. Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*, 1921; trad. it. *Tractatus Logico-Philosophicus* (Torino, Einaudi 2009).

11. E. Nagel, *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, 1961; trad. it. *La Struttura Della Scienza. Problemi Di Logica Della Spiegazione Scientifica* (Milano, Feltrinelli, 1968).

12. C.I. Lewis, "Experience and Meaning", *The Philosophical Review*, 43(1934), pp. 125-46.

13. K.R. Popper, *Logik der Forschung*, Springer, 1934, trad. ingl. con nuove note e aggiunte *The Logic of Scientific Discovery*, 1959, trad. it. *Logica della scoperta scientifica* (Torino, Einaudi, 1970).

14. M. Schlick, "Meaning and verification", *Philosophical Review*, 45(1936), pp.339-369.

15. R. Carnap, "Testability and meaning", *Philosophy of Science*, 3(1936), pp. 420-471.

16. A. Grünbaum, "Is Falsifiability the Touchstone of Scientific Rationality? Karl Popper versus Inductivism", in R.S. Cohen, P.K. Feyerabend, M.W. Wartofsky (a c. di), *Essays in Memory of Imre Lakatos* (Dordrecht, D.Reidel Publishing Company, 1976, pp. 213-252); A. Grünbaum, "Can a Theory Answer More Questions than One of its Rivals?", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 27(1976), pp. 1-23; A. Grünbaum, "Is the Method of Bold Conjectures and Attempted Refutations justifiably the Method of Science?", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 27(1976), pp. 105-136; A. Grünbaum, "Ad hoc Auxiliary Hypotheses and Falsificationism", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 27(1976), pp. 329-362.

17. P. Urbach, C. Howson, *Scientific reasoning: the Bayesian approach* (Chicago, Open Court, 1989).

18. Cfr. G. Boniolo, P. Vidali, *Introduzione alla filosofia della scienza* (Milano, Bruno Mondadori, 2003).

19. Cfr. T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 1962, trad. it. Einaudi, 1969; I. Lakatos, A. Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, 1970, trad. it. Feltri-

nelli 1984; P.K. Feyerabend, *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, 1975, trad. it. Feltrinelli 1979.

20. Quando parliamo di *metodo galileiano* identifichiamo, come tutti sanno, con Galilei colui che iconicamente e pragmaticamente fissò il metodo scientifico attuale. Sappiamo anche bene che le sue posizioni metodologiche risentono di un dibattito che risale almeno fin dal Medioevo. Cfr., per esempio, E.J. Dijksterhuis, *De mechanisering van het wereldbeeld*, 1950, trad. it. Feltrinelli 1971; A.R. Hall, *The Scientific Revolution 1500-1800*, 1954; trad. it. Feltrinelli 1976; A. Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe*, 1950, trad. it. Feltrinelli, 1970; A.C. Crombie, *Augustine to Galileo: The History of Science A.D. 400 - 1650*, 1969, trad. it. Feltrinelli 1982.

21. Cfr. G. Boniolo, T. Vaccari, "Alarming shift away from sharing results", *Nature*, 488(2012), p. 157.

22. S. Herfst et al., "Airborne transmission of influenza A/H5N1 virus between ferrets", *Science*, 336(2012), pp. 534-41.

23. M. Imai et al. "Experimental adaptation of an influenza H5 HA confers respiratory droplet transmission to a reassortant H5 HA/H1N1 virus in ferrets", *Nature*, 486(2012), pp. 420-428.

24. Cfr. G. Boniolo, "Theory and experiment. The case of Eötvös' experiments", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 43(1992), pp. 459-486.

25. B. Huberman, "Big data deserve a bigger audience". *Nature* 482(2012), p. 308.

26. A.A. Alsheikh-Ali et al. "Public availability of published research data in high-impact journals". *PLoS One*. 6(2011), e24357.

27. J.P. Ioannidis, "Why most published research findings are false". *PLoS Med.* 2(2005), e124.

28. M. Baker, "1,500 scientists lift the lid on reproducibility", *Nature*, 533(2016), pp., 452-454.

29. T.S. Rao, C. Andrade, "The MMR vaccine and autism: Sensation, refutation, retraction, and fraud", *Indian J Psychiatry*, 53(2011), pp. 95-96.

30. APS News, "1904: Robert Wood Debunks N-rays", <https://www.aps.org/apsnews/2007/08/robert-wo>

od-debunks-nrays.

31. A. Kaufmann, "The Affair of the Memory of Water. Towards a Sociology of Scientific Communication." *Réseaux. The French Journal of Communication*, 1994.

32. Cfr. <https://futureoflife.org/guest-post/90-of-all-the-scientists-that-ever-lived-are-alive-today/>

33. Cfr. J.J.W Powell et al, "Introduction: The Worldwide Triumph of the Research University and Globalizing Science", *The Century of Science (International Perspectives on Education and Society, Vol. 33)*, Emerald Publishing Limited, Bingley, 2017, pp. 1-36).

34. Da <https://www.science.org/content/article/what-massive-data-base-retracted-papers-reveals-about-science-publishing-s-death-penalty>