



tabedizioni

GIULIANO BUCETI

Al cinema con Popper

Guida cinematografica alla filosofia
della scienza

SAGGI

tab edizioni

© 2023 Gruppo editoriale Tab s.r.l.
viale Manzoni 24/c
00185 Roma
www.tabedizioni.it

Prima edizione ottobre 2023
ISBN versione cartacea 978-88-9295-773-2
ISBN versione digitale 978-88-9295-774-9

Stampato da The Factory s.r.l.
via Tiburtina 912
00156 Roma
per conto del Gruppo editoriale Tab s.r.l.

È vietata la riproduzione, anche parziale,
con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la
fotocopia, senza l'autorizzazione dell'editore.
Tutti i diritti sono riservati.

L'autore resta a disposizione degli eventuali
aventi diritto che non è stato possibile
rintracciare o che non abbiano risposto
alle richieste di autorizzazione.

Indice

- p. 7 Introduzione
- 13 A caccia della risposta definitiva
- 19 La realtà è ancora il miglior posto per avere una buona bistecca
- 29 Ciò che non si vede è come se non ci fosse
- 41 Non c'è nulla di così ingannevole come un fatto ovvio
- 45 Nulla è reale all'infuori del divenire
- 49 La sorpresa della razionalità
- 67 Un racconto su tutto quanto
- 79 (Quasi) tutto
- 89 In realtà... si tratta sempre di numeri
- 99 Sbagliare da professionisti
- 109 Una efficacia insostenibile
- 113 La cosa migliore che abbiamo

- 125 Come fate a sapere quello che farete, finché
non lo fate?
- 133 Appendice
- 135 Bibliografia
- 139 Filmografia

Introduzione

Il 18 luglio 1940, Godfrey H. Hardy scrive:



Per un matematico di professione è un'esperienza melanconica mettersi a scrivere sulla matematica. La funzione del matematico è quella di fare qualcosa, di dimostrare nuovi teoremi e non di parlare di ciò che è stato fatto da altri matematici o da lui stesso. Gli uomini politici disprezzano i giornalisti, i pittori disprezzano i critici d'arte, i fisiologi, i fisici e i

matematici hanno, in genere, un sentimento analogo. Non c'è disprezzo più profondo né, tutto sommato, più giustificato di quello che gli uomini "che fanno" provano verso gli uomini "che spiegano". Esposizione, critica, valutazione sono attività per cervelli mediocri. (Hardy, 1940)

Parole sferzanti e melanconiche quelle di Hardy, scritte in una fase della vita nella quale era arrabbiato soprattutto verso sé stesso. Era emerso da poco da un tentativo di suicidio mentre si confrontava con un problema che non aveva vie d'uscita: non era più giovane. Non aveva la creatività di un tempo, non pubblicava lavori originali, non c'era più il brivido della scoperta. Le cadute fanno male, più sei in alto e più fanno male e Hardy era sempre stato in cima.

Di recente è stato possibile incrociare Godfrey H. Hardy al cinema attraverso il film del 2015 di Matt Brown *L'uomo che vide l'infinito*. In realtà il protagonista della pellicola è il matematico Srinivasa Ramanujan, un oscuro genio indiano senza istruzione, che viene appunto scoperto dal matematico inglese. Al di là degli interessanti tratti biografici di entrambi, il film dà una idea plausibile della difficoltà di un genio matematico che “vede” alcune verità matematiche ma fa fatica a offrirne la dimostrazione. Il film rendiconta bene il confronto tra Ramanujan, che non capisce le obiezioni che gli vengono avanzate perché la verità delle sue affermazioni gli sembra semplicemente evidente, e Hardy, che cerca di spiegargli che non funziona così e che qualunque proposizione deve essere dimostrata per poter essere accettata dalla comunità dei matematici (e dalle riviste specializzate). Personalmente non ho mai “visto” verità ma ho avuto rendicontazione indiretta di esperienze del genere. Amici comuni mi raccontavano che, parlando di un qualche problema con Giorgio Parisi, premio Nobel per la fisica 2021, lui potesse prendere lo sguar-

do di chi intuiva la soluzione ma già intravedeva anche la fatica che avrebbe dovuto fare per dimostrarla.

Ma torniamo alle ragioni della melanconia, incipit di questa introduzione. Ragionare di scienza invece che farla è dunque un esercizio di mediocrità? Non la pensava così Albert Einstein, che nel 1944 ebbe a scrivere:

Molte persone al giorno d'oggi – compresi gli scienziati professionisti – mi appaiono come colui che ha visto migliaia di alberi senza mai vedere una foresta. Una conoscenza dello sfondo storico e filosofico fornisce proprio quella indipendenza dai pregiudizi della propria generazione dai quali la maggior parte degli scienziati sono afflitti. Questa indipendenza determinata dall'analisi filosofica è – a mio giudizio – il segno di distinzione tra un semplice artigiano o specialista e un autentico cercatore di verità. (Einstein, 1944)

Utilizziamo dunque la *wild card* che ci offre Einstein per avventurarci anche noi a riflettere su «questa cosa chiamata scienza», secondo la fortunata espressione elaborata da filosofo australiano Chalmers (Chalmers, 1976). Partiamo armati di buona volontà, anzi, di entusiasmo ma subito incontriamo un problema: i testi di filosofia sono spesso lunghi, ampollosi, indigeribili. E quelli di filosofia della scienza non fanno eccezione. Ha ragione Peter Singer quando attribuisce agli studiosi una parte di responsabilità nello scarso appeal che gli studi umanistici esercitano oggi verso gli studenti più brillanti.

Gli accademici in discipline umanistiche devono accettare una parte della responsabilità [...]. In alcuni campi è diventato di moda scrivere e parlare in un modo che pochi possono capire. Il gergo conferisce un'aura di competenza, ma oscura le questioni importanti in gioco. (Singer, 2016)

È per questo che qui cercheremo di farla breve. In particolare, ci terremo lontani dall'obiettivo della completezza. Seguiremo un filo logico non ortodosso, una guida fatta di pochi bivi dialettici che individuano le caratteristiche della scienza e della filosofia che la sorregge. Pochi bivi che aiutino anche a evitare di leggere centinaia di pagine (inutili?) che mettono a punto questioni di dubbia rilevanza. Un esempio? Avete mai sentito parlare del problema della *Sottodeterminazione*? Ladyman dedica circa il dieci per cento di tutto il suo manuale di filosofia della scienza (peraltro ottimo), per discutere il tema. Questo, secondo l'autore, si articola in *Sottodeterminazione forte*, *Sottodeterminazione debole*, passando per la tesi di *Duhem-Quine* e le Risposte all'argomento forte della sottodeterminazione, l'empirismo costruttivo e le obiezioni all'empirismo costruttivo. Sapete di cosa stiamo parlando? Del fatto che «spesso, più di una teoria, spiegazione o legge è compatibile con l'evidenza» (Ladyman, 2001), ovvero su gli stessi dati si possono costruire diverse teorie. E allora? È accaduto con la teoria del fluido calorico, è accaduto con la teoria dell'etere, con il dualismo onda-particella nel mondo subatomico. Sono casi nei quali si sono dovuti attendere ulteriori dati per capire dove pendesse l'inter-

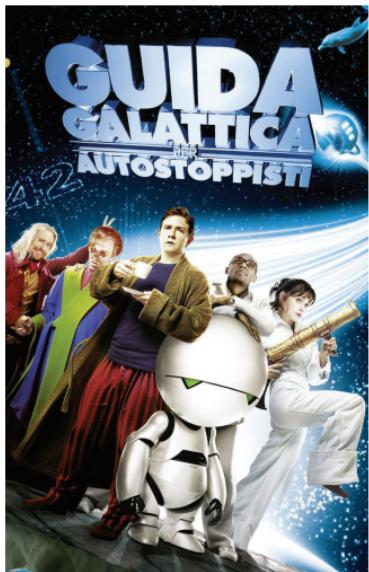
pretazione corretta. In altri la doppia interpretazione è rimasta lì come un dato ontologico della realtà. Insomma, succede. A volte è così, punto e basta.

In questo testo, per non incorrere nei pericoli della prolissità, adotteremo due misure. Innanzitutto, si privilegerà la sinteticità. Non racconteremo un punto di vista sullo sfondo degli altri, lo racconteremo e basta.

Ma soprattutto, ci faremo dare una mano dal cinema. Le sceneggiature cinematografiche, e la letteratura che spesso le alimenta, sono una miniera di spunti che esemplificano a colpo d'occhio tesi anche complesse e rivelano la grande sensibilità di alcuni sceneggiatori ai temi chiave del mondo contemporaneo.

A caccia della risposta definitiva

La Scienza non esiste



– D'accordo – disse Pensiero Profondo. – La Risposta alla Grande Domanda...

– Su?

– Sulla Vita, l'Universo e Tutto...

– Sì...?

– È... – disse Pensiero Profondo, e fece una pausa.

– Sì...?

– È...

– Sì...???

– Quarantadue – disse Pensiero Profondo, con infinita calma e solennità.

Guida galattica per gli autostoppisti è un film del 2005 diretto da Garth Jennings, ispirato alla omonima e celebre saga di Douglas Adams. Le battute di sopra sono quelle del computer Pensiero Profondo, un programma che «Settantacinquemila generazioni fa, i nostri antenati

avviarono» con il compito di rispondere «alla Grande Domanda sulla Vita, l'Universo e Tutto». La risposta di Pensiero Profondo è un laconico e insensato «42».

La scena è una parodia di tutte le situazioni solenni nelle quali si pretende di avere risposte definitive. È accaduto con tanti miti, è accaduto con tanti profeti e c'è ogni tanto la tentazione di pretenderlo anche dalla Scienza ma, più che mai, è una pretesa sbagliata. La Scienza non esiste. Nonostante i tanti libri e articoli scritti, e i dibattiti e le battaglie a difesa o contro, la verità è che la Scienza non esiste. Frasi frequenti come “lo dice la Scienza” sono indebite traslazioni di più antichi adagi quali “lo dice la Bibbia” o “lo dice il Corano”. Si tratta di traslazioni senza fondamento. Anzi, sono un ossimoro. La scienza non afferma nulla e non pretende di dire nulla di definitivo. Non avendo neanche idea di quanto sia la roba che ci sta intorno, la scienza non dice mai di avere trovato la spiegazione definitiva. Non è affatto “la” descrizione del mondo, è solo un discorso su tutto quello che siamo in grado di dire. Questo discorso viene messo pubblicamente a disposizione di modo che chi ritiene di avere un punto di vista più efficace o dati migliori, non ha che da metterli in campo e la scienza volentieri li accoglie. Non ha nulla di assoluto, anzi, è un prodotto storicamente incastonato nel suo tempo e che, di volta in volta, con i dati e i paradigmi concettuali disponibili, diventa la migliore approssimazione della realtà che siamo in grado di mettere sul tavolo. Questo, niente di più, è la scienza.

Si potrebbe trovare questa formulazione talmente ragionevole da sconfinare nella ovvia; eppure, la data di nascita della scienza è relativamente recente, normalmente collocata nei primi anni del 1600. Fino ad allora la ricerca della verità era sinonimo di ricerca delle “fonti di verità”, fossero esse un libro, un profeta, una rivelazione, qualcosa e qualcuno che si manifestasse come faro con cui interpretare il mondo. Le cose erano state così per millenni. È solo nel XVII secolo che si fa strada l’idea che non esiste un luogo della verità indipendente da noi. Non c’è cultura aristotelica o ebraica o musulmana o cristiana che tenga, che ci racconti come guardare al mondo e capire automaticamente come funziona. È l’uomo che osserva la realtà e scrive il libro della “verità” e la consapevolezza che sia lui a scriverlo lo spoglia di ogni possibile attributo di sacralità e diventa un libro mondano, per definizione temporaneo. La nuova fonte di verità, il metodo scientifico, non è un libro rivelato, è un libro che scriviamo noi e lo modifichiamo ogni giorno.

Se consideriamo tutto ciò, possiamo avere maggiore comprensione delle resistenze incontrate nel suo tempo da Galileo. Come tutti gli eventi che spezzano antiche catene, l’avvento della scienza ha avuto subito il doppio volto della emozione che una nuova libertà porta sempre con sé ma anche di una responsabilità sconosciuta. Espulsi dalla confortante schiavitù della osservanza di una verità alta e intoccabile che assolve dal dovere di prendere direttamente in mano la propria vita, subentra l’angoscia di essere più soli, non più protagonisti designati bensì

attori casuali abbandonati al proprio destino. L'elaborazione di questo lutto non è mai cessata, questo disagio, la cifra della modernità, ha disegnato il percorso artistico dell'occidente e determinato ricorrenti ondate di una resistenza che dava voce alla insostenibilità del fardello della libertà.

Se dunque la Scienza non esiste, la stessa cosa si potrà dire degli Scienziati. Si calcola che al mondo ce ne siano circa 8 milioni¹, un po' tanti per non chiamarli più semplicemente "addetti alla ricerca", persone con una formazione medio-alta, che svolgono un ordinato lavoro di indagine, che utilizzano modelli allo stato dell'arte della loro disciplina tentando di dare risposte alle questioni aperte, raccolgono dati e così migliorano o sostituiscono i modelli esistenti. Alcuni sono più creativi, altri meno, ma tutti fanno semplicemente e onestamente il loro lavoro. Sono scienziati.

Nei primi anni Due mila vivevo a Oxford e, adottando una consuetudine diffusa in città, diedi in affitto anche io una stanza della mia casa, in quel caso a un ricercatore cinese. Non era giovanissimo, aveva famiglia e perciò lavorava contemporaneamente come guardia notturna in un supermercato e come ricercatore a contratto in un laboratorio. La sua casa e la sua famiglia erano a poco più di un ora di macchina ma aveva due lavori cui attendere e decise così di prendere una stanza per evitare di viaggiare tanto tempo ogni giorno. Capitò che ci scambiassimo

1. Unesco, <https://en.unesco.org/node/252277>.

informazioni e opinioni sui rispettivi lavori e scoprì che lui era un biologo. Quello che mi colpì fu che il suo curriculum studi e professionale, maturato prima di arrivare in Inghilterra, non coincideva granché con l'attività di ricerca nella quale era correntemente impegnato. Quando feci questa osservazione mi rispose con un pragmatismo che non so se sia tipicamente cinese “Sai, il lavoro di ricerca è più o meno sempre lo stesso. Costruisci un modello, raccogli dati e verifichi la bontà del modello. Se il modello non va, lo cambi in accordo con i dati. Dopo diche raccogli altri dati e vedi se va meglio. E così via”. Sia chiaro, le cose non stanno esattamente così, innanzitutto perché bisogna distinguere tra lavoro sperimentale e chi lavora sulla teoria, ma, nella sua brutalità, il resoconto del collega cinese era molto plausibile. Soprattutto nel caso di scienze giovani, dove c'è ancora tanto da capire e da scoprire, si parte con campagne sperimentali ad ampio spettro, si cercano indizi sulle variabili più importanti, sulle loro reciproche relazioni, insomma, si tenta la ideazione dei primi modelli. Nelle scienze più mature, le cose sono più complicate ma solo perché le scoperte più facili sono già state fatte e trovare risultati nuovi è molto più faticoso. In tutti i casi, aveva ragione il collega cinese, il metodo di lavoro è molto nel processo euristico del *trial and error*, tentare, verificare e aggiustare. Insomma, niente a che vedere con la Scienza con la S maiuscola.

La realtà è ancora il miglior posto per avere una buona bistecca¹

La scienza esiste perché la realtà esiste

AGENTE SMITH:

Allora siamo intesi, signor Reagan?

CYPHER: Vede... io so che questa bistecca non esiste. So che quando la infilerò in bocca Matrix suggerirà al mio cervello che è succosa e deliziosa.

Dopo nove anni, sa che

cosa ho capito? Che l'ignoranza è un bene.

AGENTE SMITH: Allora siamo intesi.

CYPHER: Io non voglio ricordare niente. Niente. Sono stato chiaro? E voglio essere ricco. Non so, una persona importante. Un grande attore.

AGENTE SMITH: Tutto quello che desidera, signor Reagan.

1. Woody Allen, *Effetti collaterali*, 2004.

Le battute del dialogo di sopra sono estratte da un esempio entrato oramai in molti testi che si occupano di epistemologia, *The Matrix*. Si tratta di un film di fantascienza del 1999 scritto e diretto dai fratelli Wachowski. Il protagonista Neo, un hacker, entra in contatto con una organizzazione segreta che gli rivela di vivere in una incubatrice, con il corpo collegato a cavi elettrici. Tutti gli esseri umani sono nella medesima condizione e il mondo nel quale Neo è vissuto fin dalla nascita è in realtà Matrix, una neuro-simulazione interattiva. Il film è una buona realizzazione e ha avuto un ottimo successo tant'è che ne sono stati realizzati dei sequel. Per capire come tecnicamente si possa realizzare uno scenario fantascientifico del genere (perché si può realizzare!) occorre chiarire che l'idea centrale del film non è in assoluto una novità ma è il portato delle più recenti scoperte delle scienze neurologiche, che ci rivelano come ciò che noi chiamiamo realtà non è ciò che percepiamo ma è la rappresentazione costruita nel nostro cervello come effetto degli impulsi generati dalle nostre esperienze sensoriali.

Prendo a prestito le parole di Max Tegmark:

l'occhio della vostra mente non sta osservando la realtà esterna ma un suo modello che risiede nel cervello! [...] la vostra coscienza non percepisce direttamente le immagini che si formano sulle retine. I neuroscienziati hanno studiato nei minimi dettagli ciò che accade realmente, e oggi sappiamo che l'informazione registrata dalle retine viene elaborata in maniera estremamente complessa per essere

poi utilizzata nel processo di aggiornamento continuo di un modello sofisticato del mondo esterno che risiede nel nostro cervello. [...] Il vostro cervello aggiorna incessantemente il suo modello della realtà utilizzando tutte le informazioni utili su cui può mettere le mani, comprese quelle sonore, tattili, olfattive e gustative.

E prosegue spiegando che questo modello interno

esiste solo dentro di noi: la nostra mente ha l'impressione di osservare il mondo esterno quando in realtà sta solo osservando un modello della realtà memorizzato nella nostra testa, il quale, a sua volta, segue costantemente tutto ciò che accade fuori dal cervello attraverso una serie di processi complessi ma automatici di cui non siamo consapevoli. È assolutamente fondamentale non mescolare la realtà esterna con la realtà interna che la tiene sotto controllo, perché si tratta di due cose molto diverse tra loro.
(Tegmark, 2014)

Che le cose stessero così era già stato teorizzato in passato, anche se le neuroscienze stanno portando alla luce i meccanismi fisici che sorreggono il modello. Un filosofo della scienza come Cassirer scriveva già nel secolo scorso: «Con l'inizio del pensiero teoretico si chiarisce subito il fatto che tutto il nostro sapere concettuale non è una semplice riproduzione, ma una elaborazione e una interna trasformazione della materia che ci viene offerta dal di fuori. La conoscenza acquista tratti particolari

e specifici e arriva a distinguersi qualitativamente dal mondo degli oggetti, contrapponendosi a esso» (Cassirer, 1920).

L'idea alla base del film *Matrix* è di cortocircuitare l'ingresso dei segnali sensoriali che vengono dall'esterno e sostituirne l'effetto agendo direttamente nell'aggiornamento della realtà interna con dati trasmessi dal potere che controlla il pianeta. In questo modo tutti posseggono la rappresentazione di un universo che non esiste e sono immersi in una realtà virtuale. Nel film non è ben chiaro chi e come, per primo, sia sfuggito alla vita simulata, sia riuscito a "svegliarsi" per rientrare nella realtà vera. D'altra parte, il punto è proprio lì: se tutto ciò che percepiamo è pura sollecitazione neuronale, non c'è modo di accorgersene e perciò di uscirne. Come puoi uscire dalla realtà nella quale sei immerso se non hai conoscenza di una realtà altra? La prima obiezione che viene in mente a questa ipotesi è che se quello che percepiamo è pura illusione creata da un ente manipolatore, non c'è motivo per non immaginare che anche quel qualcuno all'esterno sia eterodiretto da qualcuno al di fuori di lui che lo manipola e così via secondo una catena che alla fine non trova una base solida da cui partire e la cui legittimità rimane comunque una assunzione gratuita, indimostrabile.

Insistiamo molto su questo punto perché, senza arrivare agli estremi di *Matrix*, il tema affonda in una domanda antica: ma il mondo esiste indipendentemente da me? Cosa fa il mondo mentre dormo? E dove io non sono, ovvero quasi dappertutto nel pianeta, gli altri vivono in-

dipendentemente da me? E che senso ha la loro esistenza se non entrano nella mia esperienza?

Anni fa atterrai all'aeroporto di Tunisi e, non avendo un programma preciso per i giorni a venire, salii sul primo bus che partiva. Finii in una cittadina sulla costa a ovest, Biserta. A parte il mare, non era esattamente una attrazione turistica. Aggirandomi per le vie del centro, unico straniero in giro, riconoscevo immagini che appartenevano alla mia infanzia, un certo tipo di piccoli negozi piuttosto che centri commerciali, un certo trucco delle ragazze, bambini davanti alle vetrine dei giocattoli, insomma la vita di una qualsiasi cittadina del mondo. Eppure, ero come sorpreso della scoperta di questa parte del pianeta che non solo non era mai entrato nella mia esperienza diretta ma neanche in quella indiretta della televisione o delle riviste. Era semplicemente uno degli infiniti posti che stanno al mondo e della cui esistenza non si ha alcuna contezza. Mi fermai solo una notte. Negli anni successivi, tutte le volte che mi sono trovato in un posto che mi ha sorpreso, ho ripensato a Biserta e mi ha attraversato il pensiero “Esiste anche questo e non lo sapevo”. Sì, in qualche modo, non cesso ancora di stupirmi che possa esistere qualche luogo di cui io non sappia nulla, che abbia una esistenza indipendente dalla mia.

Per dare un po' di dignità a questo stupore dal sapore un po' infantile, riprendiamo le considerazioni di Feynman che ragionava sull'età della specie umana confrontata con quella del nostro pianeta:

Prima c'era la Terra, e sulla Terra non c'era niente di vivo. Per miliardi di anni questa palla girava con i suoi tramonti, le onde del mare e tutti i rumori, e nessuna creatura vivente a goderseli. Riuscite a concepire, riuscite ad accettare l'idea di un mondo così fatto? Siamo talmente abituati a considerare il pianeta come il regno della vita che non riusciamo a immaginarcelo deserto e inanimato, eppure per un tempo lunghissimo così è stata la Terra. E probabilmente così è ancora oggi quasi tutto l'universo. (Feynman, 1998)

La domanda ritorna: che senso aveva l'universo prima della comparsa dell'uomo? Che senso ha la realtà senza la consapevolezza? E ancora, che senso hanno quelle porzioni dell'universo nelle quali l'uomo non è presente e verosimilmente non la sarà mai? Una sagace battuta di Sagan è sulla stessa lunghezza d'onda: «Se siamo soli nell'universo, che spreco di spazio!»². In particolare, nella parola “spreco” si pone la stessa domanda: quale è il senso di qualunque spazio senza l'uomo?

In questa relazione di alterità tra noi e il mondo esterno, alla radice c'è la fatica ad ammettere che la realtà possa esistere e abbia senso anche senza di noi. Questo disagio, inedito fino all'età moderna, ha ostacolato a lungo lo stesso sviluppo della conoscenza che si è intestardita

2. Questa è una parafrasi utilizzata da Sagan, durante il simposio su “Life Beyond Earth and the Mind of Man”, tenutosi alla Boston University il 20 novembre 1972, che cita Thomas Carlyle: «Uno spettacolo triste. Se sono abitati, che possibilità di miseria e follia. Se non sono abitati, che spreco di spazio».

a fissare intorno alla centralità dell'uomo ogni possibile rappresentazione dell'universo.

A questo disagio tutto esistenziale e di valore che si è palesato dall'età copernicana in poi, si è poi aggiunto il cosiddetto scetticismo degli antirealisti, i quali fondamentalmente contestano che si possa avere alcuna certezza della esistenza stessa di una realtà al di fuori di noi. Ci sono vasti ed estenuanti resoconti di queste posizioni che hanno reclutato campioni del pensiero filosofico come Cartesio e Wittgenstein per approdare, proprio quest'ultimo, alla riflessione di puro buon senso: «Quello che ci dobbiamo chiedere è se abbia senso dubitare della realtà» (Wittgenstein, 1969).

Se si nega la realtà di ciò che è fuori di noi, allora non serve nessuna scienza visto che non c'è nulla da indagare: la scienza, la sua esistenza e i suoi disperati tentativi di spiegare come funzioni il mondo, si giustificano con l'assunzione che ci sia una realtà esterna a noi, un altro da noi. Questo è un passaggio cruciale. L'accettazione dell'esistenza di una linea di divisione netta tra l'io percepito e tutto ciò che consideriamo esistere al di là della frontiera fisica del nostro corpo è una biforcazione importante. Sono esistite ed esistono molte versioni di questa negazione della realtà. Molte esperienze di tipo mistico, spesso orientali ma non solo, individuano nell'arretramento da questa biforcazione, la chiave per avere una visione del tutto. Oltrepassato questo snodo, viene sostenuto, la possibilità di vedere il tutto si perde.

Questo testo non discute questa opzione per il motivo che le esperienze mistiche non sono suscettibili di essere verbalizzate, formalizzate, proceduralizzate, non raggiungono lo stato di informazione condivisibile e questo costituisce, a nostro giudizio, un pregiudizio invalicabile. In conclusione, noi ci dichiareremo apertamente realisti, non ingenui ma realisti. Non ingenui significa che ascoltiamo tutti gli avvisi alla navigazione e siamo consapevoli che nella percezione e nella rappresentazione dell'universo intervengono fattori soggettivi. Detto ciò, perché tutta la avventura della conoscenza mantenga di senso, non possiamo non assumere che ci siamo noi e qualcos'altro, là fuori, che non siamo noi.

Speculare a questa affermazione, c'è anche il *cogito ergo sum*. La realtà esiste perché esisto io, io che la concepisco ma non perché essa non esisterebbe senza di me ma perché io ne costruisco una rappresentazione attraverso il Logos. La realtà non ha bisogno della scienza, siamo noi che ne abbiamo bisogno per costruire un racconto da condividere.

È possibile giudicare questa come una illusione ma si tratta di una illusione che è nata nel momento stesso in cui si è manifestata la coscienza, ovvero l'idea che noi potessimo uscire fuori da noi stessi e guardarci dall'esterno. Quando abbiamo immaginato questa possibilità, abbiamo concepito uno spazio nel quale noi eravamo e di cui facevamo parte ma che allo stesso tempo osservavamo come se fossimo riusciti a estrarci e a osservarla al di là di una virtuale frontiera. Da questo punto di vista

la osservazione e la riflessione sulla realtà è tutt'uno con l'occorrenza della coscienza.

Detto ciò, se il lettore ritiene comunque che la realtà sia solo illusione, una sorta di sogno, o incubo, che qualcuno più o meno maliziosamente genera o che addirittura noi stessi generiamo, può fermarsi qui. Non c'è veramente nessun motivo per andare avanti con questo testo, ma forse, con qualsiasi libro.

Per quanto ci riguarda, superiamo il primo bivio: esiste la realtà? Sì.

Ciò che non si vede è come se non ci fosse¹

La scienza esiste perché la realtà si vede
(abbastanza)



Nel 2014 esce nelle sale *La teoria del tutto*, ispirato alla biografia di Stephen Hawking, il cosmologo vivente più popolare del suo tempo, che occupava a Cambridge la leggendaria cattedra

lucasiana appartenuta prima di lui a Newton e Dirac. L'onda lunga della sua fama era arrivata fino al grande pubblico sia prima che dopo la realizzazione del film il cui protagonista Eddie Redmyne vinse persino il premio Oscar. La sceneggiatura era tratta dal libro *Verso l'infinito*, scritto da Jane Wilde Hawking, ex moglie del fisico. Come si vede, i due titoli sono differenti. Per il titolo della pellicola viene preso a prestito, invece del libro, il

1. Vladimir Jankélévitch ma anche Gracian y Morales Baltasar.

nome di un sogno antico, “la teoria del tutto”. Il sogno di una teoria definitiva era ed è più della somma della teoria della gravitazione, dell’elettromagnetismo, della forza nucleare, della meccanica quantistica e così via bensì è il sogno di costruire una teoria fisica in grado di spiegare e riunire in un unico quadro tutti le forze conosciute. Hawking condivideva questo sogno e non era certo il primo. Nel 2015 il docufilm della BBC *Isaac Newton: The Last Magician* documenta come persino Newton, il campione del razionalismo che aveva sbalordito il mondo riducendo il moto dei pianeti a quello delle “mele”, era totalmente posseduto dalla speranza di individuare lo spirito alchemico che soffiava e dava vita all’universo intero. Al di là di tutte le scoperte che lo avevano reso celebre, la segreta speranza di Newton, e l’amara delusione che corroso il declinare della sua vita, era legata alla dimostrazione della esistenza di questa forza misteriosa.

Qualcosa del genere, ma senza inquietanti sfumature magiche, animò tutta la carriera di Hawking. Nel suo caso, il dichiarato intento era quello di raccontare *La grande storia del tempo*, come scrisse in un saggio di divulgazione scientifica nel 2005. Fatto sta che il 14 marzo del 2018 Stephen Hawking scompare e insieme con lui svanisce definitivamente anche la possibilità che potesse essergli assegnato il premio Nobel per la fisica, il legitimo corollario di una carriera scientifica straordinaria. La domanda è: perché non gli era stato assegnato? Ge losie del mondo accademico che si riversavano nel comitato di Stoccolma? Qualche precedente biografico che

lo riteneva indegno del premio? No, assolutamente no. La ragione risiedeva nel fatto che Hawking era un fisico teorico, in particolare era un cosmologo che aveva concentrato i suoi studi sui buchi neri, una formazione celeste che ha una caratteristica che la rende peculiarissima: non si vede. Questo, nell'ambito delle scienze naturali, è un difetto grave, molto grave. E non si può assegnare il Nobel a qualcuno che pretende di fare scienza su qualcosa che non si vede. Più precisamente i buchi neri sono concentrazioni altissime di materia dove si manifesta una gravità che impedisce alla luce e alla materia di sfuggire. Ma se i buchi neri non emettono nulla come si fa a "vederli", a indagarli? Stiamo parlando di un oggetto invisibile, non intercettabile, di cui non si può avere informazione. Insomma, Hawking si occupava di qualcosa di cui era difficile persino dimostrare l'esistenza. Dare il Nobel a qualcuno in una situazione del genere è effettivamente un azzardo. In realtà, la presenza dei buchi neri può trovare conferma indirettamente, mediante effetti come quello di lente gravitazionale in grado di curvare la traiettoria della luce in transito vicino a un buco nero in modo analogo a una lente ottica o dalle radiazioni emesse dalla materia catturata dal suo campo di forza e che vi precipita dentro. È un po' come guardare attraverso un cannocchiale, vedere una porzione di collina strana che nessuno riesce a superare direttamente perché chi ci passa vicino o fa un giro largo per andare oltre o scompare. Come se ci fosse un buco. A vedere non si vede nulla ma si capisce che lì c'è qualcosa di strano. Col passare degli

anni, la situazione era diventata imbarazzante. Si era in una vera situazione di stallo. Da una parte nelle riviste specialistiche comparivano continuamente aggiornamenti sugli effetti attribuiti alla presenza di buchi neri, dall'altro veniva mantenuta questa distanza accademica da qualcosa che non rientrava nello standard della verificabilità scientifica.

L'incantesimo si è rotto poco dopo la scomparsa di Hawking. Nel 2020 è stata assegnata a Penrose, Genzel e Ghez il premio Nobel per i loro studi proprio sui buchi neri. L'imbarazzo che ne è derivato è stato registrato da Martin Rees, astronomo reale britannico e compagno del Trinity College di Cambridge, il quale ha dichiarato: «Purtroppo, questo premio è arrivato troppo tardi per consentire a Hawking di condividere il merito con Penrose».

Tutta la vicenda non era una novità. Nella medesima condizione si era trovato Higgs, un altro fisico teorico, il quale nel 1964 aveva ipotizzato l'esistenza del bosone, una particella che porta il suo nome. Lui, benché fisico teorico, il Nobel lo vinse, ma nel 2013, ovvero solo dopo che nel 2012 quel bosone era stato effettivamente osservato sperimentalmente presso i laboratori del Cern di Ginevra. Questo è un punto da tener ben presente: se volete vincere il Nobel della fisica, potete immaginare la cosa più bizzarra che vi passa per la testa, la teoria più esotica che riuscite a concepire ma sia chiaro che qualcosa alla fine si deve vedere, una qualche traccia si deve poter trovare. D'altra parte, se da una teoria non se ne può tirare fuori nulla di tangibile, cosa me ne faccio? Tutto ciò che

è invisibile e non intercetta nessuna delle mie esperienze, è irrilevante. È inutile. O meglio, non esiste.

Mentre ribadiamo questa posizione in maniera chiara e inequivocabile, d'altra parte siamo consapevoli che quando diciamo che una cosa si deve poter “vedere” intendiamo che deve generare segnali intercettabili dai nostri sensi, quegli strumenti che l'evoluzione ha perfezionato a un livello di complessità tali da lasciare ammirati ma che, comunque, hanno dei limiti. Ciascuno dei nostri sensi ha un suo intervallo di sensibilità oltre il quale non può andare. Tutto e gusto lavorano solo quando c'è contatto fisico, l'olfatto ci fa percepire odori prossimi a noi nell'ordine di metri. Con l'udito possiamo avere contezza di eventi che accadono anche a centinaia di km ma solo nelle frequenze cui è sensibile il nostro orecchio. Con la vista arriviamo ancora più lontano e, seppur con un grado di approssimazione rozza, siamo in grado di avere informazione anche della esistenza delle stelle ma dentro le frequenze del visibile. Per ciascuno di questi sensi, la combinazione di intensità del segnale alla sorgente e sensibilità minima di cui siamo capaci, definisce la scala di lavoro entro la quale facciamo esperienza del mondo. Con le nostre antenne naturali, dentro limiti ben individuati, abbiamo raccolto segnali dal mondo e ci siamo costruiti una idea di come funzionasse e lavorato al meglio che potevamo per uscirne vivi dalla competizione con le altre specie.

Quello che è cambiato su questo fronte negli ultimi quattro secoli è che, insieme con la stagione della scienza,

si è aperta anche quella della innovazione tecnologica e di un inedito ampliamento delle capacità delle nostre “antenne”. Abbiamo imparato a osservare la realtà con una risoluzione ben superiore a quella naturale dei sensi e a distinguere fenomeni nel tempo e nello spazio che prima ci erano preclusi. Oggi sappiamo discriminare centesimi, millesimi di secondo e poi ancora più giù fino al limite virtuale di Planck, con numeri incomprensibili come 10^{-43} secondi. Lo stesso è avvenuto con le dimensioni spaziali dove pure siamo scesi giù per decine di ordini di grandezza, di nuovo fino al limite di Planck, 10^{-34} metri. Questi limiti rappresentano attualmente delle stime teoriche, non abbiamo ancora la capacità di eseguire esperimenti o osservazioni dirette a queste scale estreme ma l'ampliamento già oggi possibile ha modificato la tabellina sui limiti “naturali” della nostra sensibilità e ci rende capaci di indagare una porzione molto più grande di realtà. A una condizione: qualunque ampliamento deve comunque risultare alla fine in qualcosa che “vediamo”, che percepiamo con i nostri sensi. L'imbuto del telescopio può protendersi verso il cielo, allungarsi, la sua sezione farsi sempre più larga, ma per quanti dati nuovi e complessi prenda, questi devono comunque scendere giù e tradursi in fotoni capaci di colpire i nostri detector, la nostra retina, i nostri film al silicio. La ricerca scientifica beneficia tanto da questo potenziamento delle capacità investigative ma rimane il vincolo che quantunque complessi siano i dati, alla fine devono tradursi in segnali intercettabili dai nostri sensi. Questa nuova capacità di “vedere” ha genera-

to una messe di dati che ha rivelato angoli della realtà che non conoscevamo, ha travolto la rappresentazione che ne avevamo costruito e ci ha proiettati in un universo che non sapevamo esistesse. I nostri sensi sono sempre gli stessi, continuiamo a non essere in grado di vedere né gli elettroni né le galassie ma sappiamo costruire strumenti che lo fanno e che traducono l'informazione in grafici e immagini nella dimensione e nella forma che noi sappiamo osservare. Un mondo nuovo è comparso, non perché non ci fosse prima, semplicemente non eravamo in grado di "vederlo". L'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande ci consegnano una realtà inimmaginabilmente più vasta e più complessa. Qualcuno osserva che finiamo per credere in cose di cui non abbiamo alcuna esperienza diretta, che non hanno nessun riscontro di realtà e che, in ultima istanza, non esistono. Insistere nella verità esclusiva dei dati percepibili solo con i nostri sensi senza l'ausilio di alcun strumento, è insostenibile perché non si capisce dove mettere la frontiera. Vogliamo bandire l'uso degli occhiali, dei cannocchiali, delle protesi acustiche e di tutti i marchingegni che l'ingegno umano si è industriato di costruire per potenziare la propria "sensibilità"? Veramente? Eppure, nei manuali di filosofia ci sono capitoli dedicati a dare resoconto di queste posizioni. La verità è che, paradossalmente, oggi può accadere il contrario, e cioè che ciò che noi percepiamo direttamente, trova legittimità solo se trova convalida negli strumenti. In caso di conflitto finiamo per ritenere più affidabili gli strumenti che abbiamo creato piuttosto che noi stessi.

Allo stesso tempo, questa progressiva espansione delle nostre capacità diagnostiche ci ha resi consapevoli della intrinseca temporaneità dei limiti delle nostre indagini. Abbiamo ragione di interrogarci: il limite a cui siamo giunti è un limite assoluto? In verità, sulla base di quello che è accaduto in passato, siamo autorizzati a ipotizzare che il mondo fisico che percepiamo oggi sia ancora un sottoinsieme di quello che saremo in grado di percepire domani. E allora alcune domande sorgono inevitabili: quanta è la realtà che in questo momento ci sfugge? questo processo di potenziamento ha una fine? se il mondo percepito è sempre parte di un mondo reale più grande, l'idea che ce ne facciamo non potrà mai essere consistente, coerente?

Il dubbio è che la realtà di cui facciamo esperienza, sia sempre un mondo non consistente perché ciò che vediamo non la dice tutta e la nostra rappresentazione è sempre incompleta al punto che non potremo mai venire a capo.

E quindi? La ricerca di un modello che spieghi il reale è destinata all'insuccesso perché mancherà sempre un pezzo di informazione? È possibile. Ma, di nuovo, se cerchiamo un modello "definitivo" allora siamo destinati certamente all'insuccesso mentre se accettiamo solo di spostare in avanti la qualità del modello, allora c'è spazio per lavorare.

In aggiunta a queste difficoltà, c'è poi da considerare che i dati non parlano da soli ma, a partire da essi, interviene un'elaborazione. Il risultato è una idea della realtà,

tutta specifica della nostra specie e della nostra cultura. Altri esseri senzienti, con una sensibilità diversa, raccolglierebbero dati diversi e su di essi opererebbero una elaborazione diversa.

Quindi, dato per scontato che lì fuori ci sia qualcosa, ciò su cui ci confrontiamo sono le rappresentazioni che costruiamo di questo qualcosa. Benché la fisica classica celebri la capacità positivista di penetrare le leggi che regolano la natura, in realtà noi scegliamo uno tra i molti possibili modelli che si possono costruire. Di questo ragionava Kant quando proponeva una versione protoquantistica della scienza e nella *Critica della ragion pura* del 1781 era lì ad affermare che l'universo non è una costruzione ispirata dalla centralità dell'uomo che lo contempla immobile per scoprirne la segreta architettura ma, al contrario, è l'uomo che crea l'universo attraverso le leggi con cui immagina esso sia regolato. Rispetto al passato si tratta di una rivoluzione copernicana sul ruolo del soggetto indagatore e anche una sorta di interpretazione di Copenaghen *ante litteram* sul ruolo dello sperimentatore che determina, attualizzandola, la realtà potenziale. Nella visione di Kant, non siamo osservatori passivi bensì organizziamo attivamente tutto quello che andiamo conoscendo secondo le forme del nostro percepire e del nostro intendere, in particolare nei nostri schemi spazio-temporali. In un certo senso è come se, quando conosciamo la realtà, la spingessimo a parlare la nostra lingua. Vengono così messe da parte altre letture che avevano dominato il passato, in par-

ticolare quelle che ritenevano che la conoscenza fosse aderenza a criteri di verità che esistevano al di sopra della vicenda umana.

Specularmente, in altre riflessioni dominava la teorizzazione che la verità fosse inconoscibile. Lungo quest'ultimo solco, nella storia della filosofia si incontrano concetti come *noumeno*, “cosa in sé”, termini che alludono a una realtà ultima che rimane al di là della nostra esperienza, una realtà che non si manifesta, non è intercettata dai nostri sensi. Viceversa, Kant arriva ad affermare che è la ricerca stessa di un ordine del mondo oggettivo a essere una illusione poiché non esiste un oggetto “in sé”. Non stiamo qui a discutere se Kant fosse convinto che esiste una essenza ultima ma inconoscibile o fosse convinto che non esistesse affatto, in ogni caso con lui ci si dissocia da una lunga tradizione che aveva considerato compito della filosofia portare alla luce l'in-sé degli oggetti. Nulla impedisce che questa essenza degli oggetti esista ma quel che degli oggetti noi conosciamo è il modo in cui si manifestano, in cui sono non in sé, bensì per noi. Noi conosciamo solo i fenomeni, mai gli oggetti in sé stessi. L'onda lunga di questa posizione porterà Friedrich Nietzsche un secolo dopo a una posizione ancora più radicale: «Non ci sono fatti, ma solo interpretazioni».

Attenzione, queste riflessioni su natura e limiti della conoscenza prendevano vita proprio perché nel frattempo si dispiegava la forza della rivoluzione scientifica nata con Galileo e che ispirava in più parti una visione positiva, carica di fiducia nell'uomo e nella esperienza sen-

sibile, quella fiducia che ispira ancora oggi la comunità scientifica.

Per timida ansia di completezza, va ricordato che, quanto a una scienza basata sui fatti, sovente viene avanzata la contestazione che la ipotesi di una presunta imparzialità della scienza non esiste perché si baserebbe sulla esistenza di dati obiettivi che nella pratica non esistono. Ciascun dato porta con sé inevitabili pregiudizi che inficiano la possibilità che esista un atteggiamento astrattamente scientifico. I dati, i fatti e le conseguenti teorie che se ne traggono, non sono mai al riparo dalla relatività del soggetto che le produce. Scrive Chalmers «l'idea che la caratteristica distintiva della conoscenza scientifica sia che essa derivi dai fatti dell'esperienza può essere accettata, ammesso che lo si possa, solo ove avvenga in forma attenta e altamente qualificata. Incontreremo ragioni per dubitare che i fatti acquisiti dall'osservazione e dall'esperimento siano così diretti e sicuri come è stato tradizionalmente ritenuto. Troveremo anche che si può sostenere con forza l'affermazione che la conoscenza scientifica non può essere né definitivamente provata né definitivamente smentita» (Chalmers, 1976).

La domanda è: ma potrebbe essere altrimenti? No. E allora perché parlarne? «[...] dubitare che i fatti acquisiti dall'osservazione e dall'esperimento siano così diretti e sicuri» è una ovvia. E perciò, non avremo dubbi al nostro secondo bivio. Al primo ci siamo chiesti se la realtà esista, ora ci chiediamo se si faccia viva con noi, se con essa si può interagire. Ebbene sì, anzi, è nel rispondere

di sì a questa domanda che trova fondamento la scienza stessa. La realtà esiste e si vede. Magari non è vero ma non possiamo che procedere con questa ipotesi perché fuori di questo perimetro, di nuovo, tutto perde di senso.

Non c'è nulla di così ingannevole
come un fatto ovvio¹

La scienza esiste perché la realtà inganna



Z la formica è un film d'animazione del 1998, diretto da Eric Darnell e Tim Johnson. La storia è quella di una formica operaia, Z, che per caso incontra in un bar e corteggia una formica femmina senza essere consapevole che si tratta di Bala, la futura formica regina. Il film prosegue con un intreccio di cospirazioni di palazzo, battaglie con le termiti, processi e prigioni, fughe e lieto fine con il matrimonio tra Z e la regina, tutto secondo uno schema abbastanza classico delle vicende umane e della letteratura che su di esse si costruisce. Prima che sullo schermo compaia la parola fine, il regista si prende la libertà di una inquadratura dall'alto, lontano dal teatro degli avvenimenti che hanno rapito l'attenzione dello spettatore per circa due ore.

1. Sir Arthur Conan Doyle.

Si scopre così che le vicende che venivano rappresentate con la medesima passione di un dramma tutto umano erano ambientate in un formicaio formatosi al margine di una piccola pozzanghera, evocata nel corso della storia come una sorta di terra promessa piena di ogni leccornia, creata da una caramella liquefatta.

Questa inquadratura dall'alto ha un sapore amaro. D'un tratto tutta la storia sembra ridicola. Amori, lotte, passioni, ardimenti e tradimenti, tutta l'enfasi che aveva segnato lo sviluppo della vicenda e riempito di emozioni il cuore e la mente degli spettatori, si rivela essersi consumata intorno a una caramella squagliata. Poiché tutto il film è una parodia del teatro delle vicende umane, quella inquadratura dall'alto getta una luce inquietante non solo sulla storia di Z ma anche su di noi, sulla nostra vita.

In realtà riuscire a guardarsi con occhio distaccato è cosa buona. Viviamo la nostra vita intensamente, attaccati alle cose e alle persone che ci sono più prossime ma possiamo, e lo possiamo sempre di più, allontanarci con lo sguardo per veder meglio cosa ci accade. Vedere le cose da lontano, nello spazio e nel tempo, ci restituisce una prospettiva più ricca di informazione e cambia completamente il significato di ciò che accade. Non di rado ci è capitato che questo allargamento di orizzonte ci spaesasse.

Ma torniamo alla inquadratura del film: tutti i nostri sforzi si stanno dunque consumando ai margini di qualche ridicola pozzanghera? Quello che noi viviamo con un pathos da epopea universale, sono solo convulsio-

ni di esseri insignificanti? Non lo sappiamo con precisione, ma l'inquadratura concepita dal regista di *Z la formica* sembra ispirata da questo dubbio.

È il portato delle conoscenze maturate negli ultimi secoli. Per millenni ci siamo sentiti saldamente ancorati a una Terra piatta intorno a cui ruotava il Sole. Tutto questo mentre invece camminavamo su una trottola sferica che ruotava su sé stessa e contemporaneamente intorno al Sole. Tre errori in uno.

La realtà esiste e noi la percepiamo ma male, veramente male. Non possiamo fidarci di noi stessi, di quello che “vediamo”.

Il sospetto che le cose stessero in questo modo venne alla luce abbastanza presto e da lì originò la convinzione di Platone che l'apparenza inganna e che i dati sensibili ci portano fuori strada. La realtà vera, sostenne Platone, è fatta di idee astratte, immutabili e alla cui comprensione si arriva solo attraverso la ragione. In questa concezione c'è già molto del metodo scientifico, a dispetto della consuetudine di contrapporre queste alle visioni platoniche.

Anche la scienza lavora nella convinzione che il bruto dato sensibile non sia automaticamente autoesplicativo e che bisogna aggregarlo ed elaborarlo con la “ragione” per poterne tirare fuori un contenuto di informazione non transeunte. La differenza con l'approccio di Platone è che quest'ultimo teorizza che occorre prescindere totalmente dal dato sensibile mentre la scienza parte da esso, lo depura e ne estrae regolarità e leggi che sottostanno al dato

transeunte. Anche la scienza mira al mondo delle idee ma a partire dai dati sperimentalni, non a prescindere da essi.

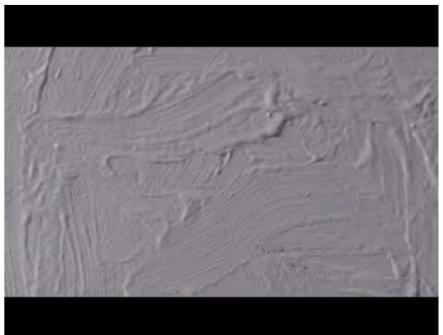
Una legittima domanda sorge allora spontanea: perché mai abbiamo sviluppato sensi così maldestri? La risposta che normalmente oggi si dà a una domanda del genere è di tipo evoluzionistico. Abbiamo sviluppato le abilità migliori che ci aiutavano a sopravvivere e adattarci all'ambiente e non alla comprensione di cosa sia la realtà ultima. Bisogna dire che è stato molto ragionevole aver dato priorità a salvarci la pelle, anche a costo di ricevere una impressione totalmente sbagliata di come stiano realmente le cose. Ora che l'abbiamo scampata, abbiamo più tempo per farlo, abbiamo più tempo per fare scienza. Studiare e pensare sono un lusso che ci si può permettere solo dopo aver mangiato e dormito.

Le spiegazioni di tipo evoluzionistico hanno sempre un sapore di incompletezza, non hanno mai quel carattere di inappellabilità ma solo quello della plausibilità. D'altra parte, non si può rimettere indietro l'orologio, fare un po' di giri (come si fa nei laboratori di fisica) della evoluzione e vedere come va. Si può solo ragionare sui dati storici, su ciò che è accaduto.

Siamo dunque di fronte a una realtà altra da noi, con cui riusciamo a interagire ma lo dobbiamo fare con metodo perché la percepiamo in un modo che spesso ci inganna. Nel mettere insieme i dati ci vuole metodo, ci vuole scienza.

Nulla è reale all'infuori del divenire¹

La scienza esiste perché la realtà cambia



Paint Drying è un film britannico del 2016, diretto e prodotto da Cherlie Lyne. Dura più di dieci ore. Oltre che per la sua lunghezza, è considerato il film più noioso della storia del cinema

perché in quelle 10 ore non accade nulla, assolutamente nulla. Se non potete resistere all'idea di vederlo, sappiate che ne esiste una versione anche su YouTube. La trama è semplice: la telecamera inquadra per tutto il tempo una parete appena pitturata e documenta il processo di asciugatura. Il film venne realizzato per costringere il British Board of Film Classification (BBFC) a guardare tutte e dieci le ore per assegnare al film una classificazione sull'età raccomandata per lo spettatore. Si trattava di una protesta contro la censura e il costo (di solito £ 1000 per

¹. Erich Fromm, *Avere o essere*, trad. it. a cura di F. Saba Sardi, Mondadori, Milano 2013.

film) proibitivo per i registi indipendenti ma necessario per assolvere l'obbligo di classificazione.

L'opera era ed è un *nonsense* poiché un film dove non accade assolutamente nulla non è un film. Lo stesso accade con la nostra esperienza del mondo. Se fossimo gettati all'esistenza in una realtà dove non accade nulla, ma proprio assolutamente nulla, non ci faremmo domande: non ci sarebbe nulla da capire. Che faccia avrebbe una realtà statica? È difficile immaginarlo. O forse è facile. Non avrebbe nessuna faccia. Qualunque cosa fosse, starebbe lì insignificante, non si potrebbe confrontare con null'altro non esistendo varietà ma una sola realtà, sempre la stessa. Sì, non avrebbe nessuna faccia, sarebbe il nulla. E qui si affaccia di soppiatto una antica domanda: perché, infatti, non è il nulla? Perché esiste il mondo? Perché la varietà, la dinamica, il cambiamento, la complessità, perché? Perché non il nulla che è molto più semplice? Ma questo è un altro libro.

Torniamo a noi. Un universo immobile è un ossimoro, non ha senso parlare di un universo in cui non accade nulla, non ci sarebbe la vita e non ci sarebbe potenziale osservatore. Ma anche ammesso che sia possibile immaginarsi in un mondo del genere, non ci sarebbe nulla da indagare. Come sarebbe il futuro? Sarebbe uguale al presente. E uguale al passato. Tutto è sempre stato com'è adesso e sarà sempre così. Punto. Non c'è posto per le domande, non c'è posto per la scienza in un universo simile. La scienza esiste perché la realtà si muove, cambia, e fa nascere la questione "come?".

La parola che indica lo studio del movimento è *dinamica*. Tutte le volte che si cerca di capire cosa regola un cambiamento se ne studia la dinamica: quella degli eventi, quella musicale, quella delle relazioni, economica, finanziaria, e così via.

Ecco perché ha ragione James H. Williams, Jr (Williams, 1996) quando scrive «la dinamica è la più importante disciplina nella storia dell'umanità; è la dinamica che ha consentito all'uomo di trovare una sua nicchia nel cosmo». Lui si riferisce a quella della fisica che studia il movimento dei corpi e la sua perorazione suona un po' interessata visto che il suo impegnativo manuale si occupa proprio di quella dinamica ma, certo, è difficile smentire la formulazione generale che lui propone.

La fisica studia i cambiamenti nei movimenti degli oggetti e le leggi che ne regolano il comportamento. La biologia si concentra sullo studio dei cambiamenti negli organismi viventi, come la crescita, lo sviluppo e l'evoluzione. La chimica esplora i cambiamenti nelle proprietà e nelle reazioni delle sostanze. Ovunque l'analisi è sui processi di cambiamento e sulle cause e gli effetti che li determinano.

Il successo di questi sforzi spesso dipende dal linguaggio (attenzione a questa parola, tornerà con insistenza), ovvero dalla matematica. Un esempio significativo è quello della fisica classica e dell'introduzione del calcolo infinitesimale di Newton e Leibniz che ha fornito uno strumento per descrivere il movimento e lo studio delle leggi del moto. Senza il calcolo differenziale e integrale,

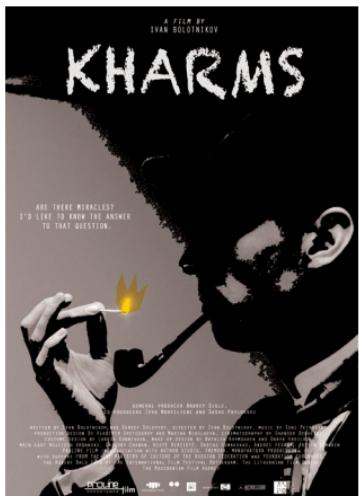
non sarebbe stata possibile la descrizione del movimento dei corpi celesti.

Allo stesso modo, la teoria della relatività di Albert Einstein ha richiesto nuovi strumenti matematici, come la geometria differenziale di Riemann, per descrivere il concetto di spazio-tempo curvo. E ancora, nel caso della fisica quantistica, gli sviluppi teorici hanno richiesto nuove forme di matematica, come l'algebra lineare e gli spazi di Hilbert, per descrivere e calcolare le proprietà dei sistemi quantistici. Ma anche l'astrofisica, la teoria dei sistemi complessi o la teoria del caos hanno richiesto l'utilizzo di modelli matematici innovativi.

Si tratta di ambiti molto diversi tra loro sia per aree applicative che per linguaggio descrittivo ma tutti hanno in comune lo sforzo di voler descrivere la “dinamica” dei processi in gioco. Abbiamo voluto dedicare una attenzione particolare a questo tratto, perché deve risultare chiara una cosa (e non sempre lo è): scienza è studio del cambiamento.

La sorpresa della razionalità

La scienza esiste perché la realtà è (abbastanza) razionale



Una volta Orlov fece indigestione di piselli tritati e morì. E Krylov lo venne a sapere e morì pure lui. E Spiridonov morì per conto suo. E la moglie di Spiridonov cadde dalla credenza e morì pure lei. E la nonna di Spiridonov cominciò a bere e si diede al vagabondaggio. E Michajlov smise di pettinarsi e gli venne la tigna. E Kruglov disegnò una signo-

ra con una frusta in mano e uscì di senno. E Perechrëstov ricevette un vaglia telegrafico di 400 rubli e cominciò a darsi tante arie che lo licenziarono. Tutta brava gente, e non sanno farsi una posizione. (Charms, 1990)

Il brano di sopra è un racconto di Daniil Charms tratto dalla serie *Casi*. Nato nel 1905 a San Pietroburgo/Leningrado, Charms iniziò nel 1924 a frequentare il *Lenin-*

grad Electrotechnicum, dal quale venne espulso “per scarsa predisposizione alle attività sociali”. Si dedicò quindi totalmente alla letteratura e venne acquistando fama di eccentrico, geniale ma folle, all’interno dei circoli artistici e culturali di Leningrado. Arrestato una prima volta nel 1931 venne condannato a tre anni di lavori forzati. Arrestato di nuovo nel 1941, morì l’anno successivo nell’ospedale psichiatrico di Leningrado dove era stato rinchiuso. Aveva contribuito alle attività dell’Associazione degli scrittori per l’infanzia ma soprattutto fondò il movimento d’avanguardia OBÉRIU, ovvero Unione dell’arte reale, che si ispirava al principio estetico della autonomia dell’arte dalle regole e dalle leggi del mondo reale e sul concetto che il significato del mondo e dei suoi oggetti dovesse essere ricercato al di là della loro funzione materiale e pratica. Lo stile fa pensare a movimenti artistici come il dadaismo o il futurismo ma in realtà si spinge ben al di là e la poetica che lo ispira vuole deliberatamente stupire, sorprendere, risultare imprevedibile. Nel brevissimo racconto di sopra compaiono in poche righe ben otto personaggi. Questi si rendono protagonisti di azioni non solo singolari ma anche scorrelate tra loro. Parliamo di racconto per via della brevità del testo ma nella sostanza non c’è nessun racconto. Personaggi e azioni si susseguono senza nessuna logica e l’unico faro che guida l’autore è quello di voler sfuggire a ogni schema di razionalità. Non è un caso che i suoi testi non abbiano mai costituito il punto di partenza di una qualsiasi sceneggiatura cinematografica: non c’è trama cui ispirarsi. L’unico

racconto che si può tirare fuori da Charms è la sua stessa vita e infatti su di lui è uscito nel 2017 un film biografico russo-lituano-macedone diretto da Ivan Bolotnikov e che ha anche ricevuto i premi per la migliore fotografia e la migliore sceneggiatura allo Shanghai International Film Festival nel 2017.

Non sappiamo se l'universo, e il suo modo di funzionare, sia l'opera di un architetto superiore ma, di sicuro, c'è da essere contenti che questo non abbia aderito alla poetica di Daniil Charms. In quel caso avremmo avuto un mondo dove le cose sarebbero accadute a caso, nulla sarebbe risultato prevedibile. Organizzarsi per vivere in questo ipotetico mondo sarebbe stato complicato assai. Fortunatamente non è così. In questo universo la scienza non avrebbe avuto cittadinanza. Lì dove regna il caos, non c'è nulla da indagare, da studiare, sarebbe semplicemente... caso. E invece «che l'universo esibisca caratteri di razionalità è la grande scoperta, niente affatto ovvia, che sta alla base della scienza: se tutto fosse casuale, la natura sarebbe solo un gioco d'azzardo e la vita una scommessa» (Odifreddi, 2003).

Cosa vuol dire che l'universo è razionale? Se ci si guarda intorno, le cose sembrano che stiano in tutt'altro modo. Altro che razionale! La realtà intorno a noi è l'esperienza di qualcosa di transeunte, che cambia continuamente, che non è mai uguale a sé stesso. Questo è ciò che veramente succede. È però vero che dietro questa apparente irriducibile diversità di ogni istante dall'altro, si riconoscono delle regolarità e si staglia

un profilo, si intravede, appunto, una ratio. Il mondo, pur essendo qualcosa che cambia continuamente, non si muove come un ubriaco. Non accade come nel racconto di Charms che «Spiridonov morì per conto suo. E la moglie di Spiridonov cadde dalla credenza e morì pure lei», tutti eventi rispetto ai quali viene spontanea la considerazione: ma che c'entra? Spiridonov muore e subito dopo la moglie cade dalla credenza. Che c'entra? C'è una relazione tra questi due fatti? Non si sa, non si capisce. Viceversa, nella nostra esperienza, nella vita reale dei fenomeni naturali, non ci aspettiamo che le cose vadano così. Se sono seduto al bar con un amico non mi aspetto che lui improvvisamente si capovolga perché la gravità ha cambiato di verso né che sparisca all'improvviso e tantomeno che la moglie cada dalla credenza. L'affermazione che il mondo è razionale è connessa al fatto che è ordinato e gli eventi sono in qualche modo collegati. C'è causalità, non casualità. La scoperta, nel corso della storia, di relazioni, a volte imprevedibili, di causa/effetto (le maree effetto della presenza della Luna) o di inattese universalità (la mela cade e la Terra gira intorno al Sole per effetto della stessa legge) hanno rafforzato la convinzione che possono trovarsi relazioni lì dove meno lo si aspetti e che ove esistano fenomeni ancora incompresi, questo sia dovuto non a una intrinseca inintellegibilità della natura ma a pura limitazione della nostra dotazione sperimentale (vedi il caso delle onde gravitazionali) o della nostra capacità di calcolo. L'esistenza di questa rete di relazioni è la manifestazione di un qualche ordine

razionale del mondo. L'indagine scientifica è la ricerca di questo ordine nascosto, è lo strumento con cui mettiamo insieme i pezzi del puzzle che vengono dalla nostra esperienza, al fine di comporre un quadro coerente la cui logica è invisibile allo sguardo disarmato di chi si ferma al solo dato sensoriale. Che questo quadro esistesse non era affatto scontato.

È all'intelligenza dei greci che siamo debitori per aver concepito per primi l'idea che i fenomeni naturali fossero regolati non da volontà di demoni o dèi superiori ma da leggi, ovvero da meccanismi indipendenti. Non era ancora la scienza ma certamente concepire l'idea che si potesse fare uno sforzo tutto umano per mettere ordine nell'esperienza della vita, era uno straordinario salto in avanti: scompaiono maghi o stregoni, dei capricciosi o mostri taurini, signori del mare e del vento, volontà imperscrutabili che cospirano ora a favore ora contro gli uomini, scompaiono tutti, non c'è nessuno, c'è semplicemente che le cose sono fatte in un certo modo e si può capire qual'è questo modo.

La semplice domanda "come funziona il mondo?" ha cambiato il mondo. La realtà non era più casualità cieca da subire, ma poteva essere compresa e forse addirittura modificata. Il valore della cultura greca, di cui non finiremo mai di celebrare il genio, fu questo. Fu lì che per la prima volta l'*homo sapiens* emerse dall'indistinta commistione di essere e divenire, di eterno e contingente, di apparente e reale, con la chiara consapevolezza che, per prendere nelle mani il destino della propria vita, quel gro-

viglio doveva sciogliere, quella divisione doveva operare. Da allora, la storia dell'uomo è diventata la storia dello sforzo ininterrotto a dare forma al divenire del mondo e a cercare la giusta prospettiva che rivelasse le geometrie nascoste dietro il caos apparente. Il dualismo tra presente ed eternità è tutto nel confronto tra la contingenza dell'essere *hic et nunc* e l'eternità delle leggi che legano il filo di perle dei vari istanti e fanno la successione degli stati dell'universo.

Detto ciò, pur avendo interiorizzato da tempo la consapevolezza di un universo razionale, è legittimo che ancora oggi possiamo stupirci e lasciarci a considerare che «gli scienziati stessi di solito danno per scontato che viviamo in un cosmo razionale e ordinato, soggetto a leggi precise che possono essere svelate dal ragionamento umano. Tuttavia, il motivo per cui le cose dovrebbero stare così resta un mistero assillante» (Davies, 1992).

La domanda successiva diventa: come si declina questa razionalità universale? se è vero che la realtà segue delle regole, con quali strumenti queste si scoprono? I greci si posero immediatamente il problema ed è notevole che, dopo due millenni di riflessione sull'argomento, la risposta non sia cambiata di molto: inferenza. Inferenza induttiva o induzione e inferenza deduttiva o deduzione.

L'induzione è la tecnica con cui si organizzano e combinano dati particolari per estrarre informazioni generali. Fa buio, vado a dormire, mi sveglio e c'è il Sole. Fa di nuovo buio, vado a dormire, mi sveglio e c'è di nuovo il

Sole. Questa catena di eventi si ripete regolarmente tutti i giorni finché diventa inevitabile che la sera vada a dormire nella convinzione che anche domani mi sveglierò e ci sarà il Sole. Non c'è certezza, ma sono legittimato a "inferire" una previsione. Una serie di eventi particolari mi suggerisce una relazione tra due stati, nella fattispecie un ciclo notte-giorno. Sono consapevole che potrò essere smentito da eventi futuri ma, sulla base di quelli passati, posso fare delle ipotesi, posso operare una inferenza induttiva. Le leggi della fisica sono il risultato di operazioni di questo tipo. La legge dell'inverso del quadrato che regola la forza elettrica è risultata da una serie di misure di casi particolari e poi è stata controllata in vari modi, e sempre confermata. La definiamo una legge perché, sulla base dei dati raccolti, siamo legittimati a una inferenza induttiva e a concludere che la proprietà che essa espri me sia generale. Questo tipo di inferenza è per sua natura l'estrazione di informazione da dati "particolari" che hanno valore locale nello spazio e nel tempo. Che il Sole sorga domattina non è una verità assoluta, è vero qui *hic et nunc*, è vero sul pianeta Terra ed è vero in questo momento. In un altro angolo dell'universo potrebbe non essere vero (perché non c'è una stella che brilla o un pianeta che ruota) e non è sempre stato vero (il sistema solare non è sempre esistito) e per certo non lo sarà per sempre (il Sole si spegnerà). Una informazione estratta da una inferenza induttiva si porta implicitamente appresso una carta di validità spaziotemporale che ne delimita la frontiera al di là della quale non si può dire nulla.

A chi non fosse della materia, va subito dato l'avviso che la tecnica induttiva non si è affermata facilmente. Pur basandosi sulle semplici considerazioni di prima, ha generato una enormità di obiezioni e, dal punto di vista epistemologico (si dice così), ci corre l'obbligo di dare conto di alcune delle polemiche che hanno riempito la storia della filosofia. Il più illustre tra i critici è certamente David Hume, il filosofo che per primo

mise in guardia dai pericoli del ragionamento induttivo. Il cuore del suo ragionamento è il seguente: il fatto che il Sole sia stato visto sorgere sempre in orario, o che la legge dell'inverso del quadrato sia sempre stata confermata, non è una garanzia del fatto che continuerà a essere così in futuro. La credenza che ciò avverrà si basa sull'assunzione che «il corso della natura rimane sempre uniformemente invariabile». Ma come si giustifica questa assunzione? Certo, può darsi che si sia sempre invariabilmente osservato che uno stato di cose B (per esempio l'alba) segue A (per esempio il crepuscolo), ma non si deve con ciò intendere che B sia una conseguenza necessaria di A. In che senso, infatti, si potrebbe sostenere che B debba seguire A? Possiamo certamente immaginare un mondo in cui ha luogo A e non B: non vi è alcun collegamento logicamente necessario tra A e B. Potrebbe esserci un altro senso di necessità, una sorta di necessità naturale? Hume e i suoi seguaci negano tale possibilità.

Sembriamo costretti ad ammettere che le conclusioni acquisite induttivamente non siano mai assolutamente sicu-

re nel senso logico in cui lo sono le conclusioni deduttive, nonostante il «senso comune» sia fondato sull'induzione. Che il ragionamento induttivo abbia successo tanto spesso è una (notevole) proprietà del mondo che possiamo chiamare affidabilità della natura. Per tutta la vita si possiedono determinate credenze sul mondo (come l'ineluttabilità del sorgere del Sole) che sono derivate in modo induttivo, e considerate del tutto ragionevoli, benché non siano basate sulla logica deduttiva, ma sul fatto che il mondo è fatto in un certo modo. Come si vedrà, non c'è nessuna ragione logica per cui il mondo non avrebbe potuto essere diverso. Avrebbe potuto essere caotico in modo da rendere impossibile la generalizzazione induttiva. (Davies, 1992)

Il cuore della obiezione è che non si avrà mai la certezza di fare affermazioni definitivamente corrette perché ci si baserà sempre su generalizzazioni parziali. Vien voglia di rispondere: e allora? Certo che ci si basa su generalizzazioni parziali. Tutte le nostre conoscenze sono generalizzazioni parziali, tutte le nostre convinzioni sono estratte dai dati che possediamo in un dato momento e che sono, per definizione, un sottoinsieme dei dati che potremmo possedere in futuro, che sono a loro volta un sottoinsieme di tutti i dati possibili. E allora? Il punto è sempre lo stesso: dobbiamo abbandonare il pregiudizio di dover raggiungere una conoscenza definitiva. E di nuovo: la scienza non ha l'obiettivo di fare affermazioni assolutamente corrette e definitive ma solo di tirar fuori idee al meglio dei dati disponibili. Il punto che il Sole

sia sempre sorto in passato non è garanzia che accada anche domattina ma fintanto che non ci sono dati nuovi, perché dovremmo cambiare le nostre previsioni? Si dirà: è mai possibile raggiungere “la verità” in condizioni così precarie? Ma non dobbiamo raggiungere “la” verità, dobbiamo parlare delle cose che sappiamo. È l'unica cosa seria da fare. Le preoccupazioni di Hume sono i pregiudizi di chi intende la conoscenza non come percorso ma come una stazione di arrivo. O ci sei o non ci sei. Ma non funziona così.

Sulla stessa lunghezza d'onda di Hume, sono poi venuti tantissimi a esprimere riserve e precisazioni su quanto siano poco affidabili i dati su cui ragioniamo. La preoccupazione è sulle numerose variabili che entrano nella raccolta dei dati e anche nella sperimentazione di laboratorio: la corretta definizione delle condizioni iniziali, la calibrazione degli strumenti di misura, la congruità tra la risoluzione spaziale e temporale degli strumenti, la scala del fenomeno che si vuole osservare, la potenziale influenza di fattori non adeguatamente modellizzati, e poi il contesto socio economico, la casualità, la personalità del singolo ricercatore e così via discorrendo su tutte le variabili che sempre entrano nelle vicende umane. Si tratta di considerazioni che reiterano raccomandazioni e precauzioni che valgono sempre e non solo in sede epistemologica ma la verità è che, per quanto esaustiva voglia essere questa lista, ciò che accade nella pratica è che gli errori che si possono compiere sono ancora di più e più imprevedibili di quanti se ne possano immaginare. L'u-

nico atteggiamento che si può prendere è cercare di fare al meglio il lavoro di misura e lasciare alla comunità dei ricercatori il giudizio sulla bontà degli stessi. Quanto alle teorie che si possono inferire, sarà la capacità di spiegare effetti noti e soprattutto di prevederne di nuovi, il metro di giudizio per invocare correzioni di rotta nella teoria o nell'approccio sperimentale. Cercare di definire a priori quale sia “la” procedura per la elaborazione di teorie o per la progettazione di esperimenti è tanto noioso quanto sterile. Esistono delle regole generali, ma soprattutto esiste *l'hic et nunc* della prassi scientifica, e anche guardando alla storia della scienza, si scopre che c'è una quota di improvvisazione e intuizione che la rende molto più vicino alla produzione artistica che alla ingegneria dei sistemi produttivi.

Ovviamente più dati ci sono, meglio si giustifica il processo induttivo. Ma meglio quanto? Thomas Bayes, un matematico e ministro presbiteriano britannico del XVIII secolo, definì una procedura per quantificare il vantaggio che si costruisce via via che si acquisiscono nuovi dati. L'inferenza bayesiana è un approccio in cui tutte le forme di incertezza sono espresse in termini di probabilità. Si parte formulando un modello del fenomeno di interesse e si identificano i parametri che lo caratterizzano; quindi, si associa una distribuzione preliminare di probabilità a ciascun valore dei parametri del modello. Tutte le volte che si raccolgono dati nuovi, i valori di probabilità sono messi alla prova (abbiamo nuovi dati quindi ne sappiamo qualcosa di più) e i valori di probabilità

possono essere modificati: con una nuova distribuzione si può partire per osservazioni future e reiterare la correzione dei parametri. Il tutto suona abbastanza sensato anche se per capire di cosa si tratti nella pratica, è inevitabile guardare a qualche esempio (come quello riportato nell'*Appendice*). In molti dei programmi di AI che si dicono basati su *autolearning*, l'induzione la fa da padrona, e in particolare la tecnica di inferenza bayesiana. È anche per questo che ci è sembrato opportuno farne menzione. In generale, negli ultimi anni le ricerche in ambito di intelligenza artificiale hanno dato nuova linfa alla riflessione epistemologica, si è tornati a riflettere su come si realizzhi operativamente il processo di induzione. D'altra parte, per trasferire in una macchina le stesse abilità dell'uomo, è necessario conoscerle e non sempre le cose stanno così... Anzi!

Nello stesso solco, non si possono non citare gli approfondimenti nati negli anni Sessanta nell'ambito della teoria dell'informazione a opera di studiosi come Solomonoff. Al centro erano domande come: «In che modo le persone creano teorie per spiegare la loro esperienza del mondo? Debbono compiere generalizzazioni, trovare schemi in dati che sono sempre influenzati dalla casualità e dal rumore. Una macchina potrebbe fare altrettanto? In altre parole, si può fare in modo che un calcolatore apprenda dall'esperienza?... Solomonoff, in effetti, aveva cercato di capire come un calcolatore possa esaminare successioni di dati (successioni di numeri o stringhe di bit) e misurarne la casualità e gli schemi nascosti. Quan-

do gli esseri umani o i calcolatori apprendono dall'esperienza, usano l'induzione: riconoscono regolarità in mezzo a flussi irregolari di informazioni» (Gleick, 2011).

Se guardiamo però alla normale prassi della attività di ricerca quello che si adotta è un più generale abito mentale che si conforma alle raccomandazioni di Hawking: «una buona teoria fa un certo numero di predizioni suscettibili, in linea di principio, di essere confutate, o “falsificate”, dall'osservazione. Ogni volta che nuovi esperimenti forniscono risultati in accordo con le predizioni, la teoria sopravvive e la nostra fiducia in essa aumenta; ma se troviamo una nuova osservazione che non si concilia con le predizioni, dobbiamo abbandonare o modificare la teoria» (Hawking, 1988).

È ora però di parlare dell'altro strumento, a fianco dell'inferenza induttiva, che fa parte della prassi epistemologica: l'inferenza deduttiva, ovvero la deduzione. Questa è considerata il grimaldello principe della filosofia occidentale sin dal tempo dei greci e non ha mai sofferto delle incertezze di credibilità della induzione. Cosa intendiamo? Il classico sillogismo che date alcune premesse, ne tira fuori delle conclusioni. Consideriamo un esempio tipico dei manuali di logica. Premesse: tutti gli scapoli sono uomini; Alex è scapolo. Conclusione: Alex è un uomo.

C'è una relazione di inclusione automatica (essere scapoli implica essere uomini) e questa si porta appresso una conclusione che non dice niente di più di quello che era presente nelle premesse combinate insieme. Nondimeno,

in molti casi, la esplicitazione di una informazione implicita risulta utile e può portare alla luce verità “nascoste”. La differenza fondamentale tra induzione e deduzione è che una inferenza di tipo induttivo può essere smentita da dati ancora non noti mentre una inferenza dedotta no (a meno che non si rivelino sbagliati gli assunti di partenza). La deduzione è una inferenza su dati non transeunti, su dati ontologici degli enti e delle reciproche relazioni. Analizzare dei casi specifici aiuta più delle formulazioni generali, in particolare conviene ricordare alcune regole che governano la inferenza deduttiva: il principio di non contraddizione (o vale A o vale non-A); la transitività (se A implica B e B implica C, allora A implica C); in una congiunzione se un carattere appartiene alla coppia, allora appartiene a ciascun componente; *tertium non datur* (in una contraddizione, o vale una o vale l'altra). Utilizzando regole di questo tipo, ripetiamo, un'argomentazione deduttiva parte con un insieme di “premesse” e sviluppa una conclusione “certa”. Purché mutuamente compatibili, le premesse sono asserzioni ritenute vere senza interrogativi ulteriori e vengono considerati dati di partenza che si giustificano con l'intuizione. Allo stesso modo, è l'intuizione che giustifica la validità delle regole. Queste vengono percepite direttamente, nel senso che queste sono indubitabili. Attenzione, qui non si può non rilevare che utilizzare la categoria dell'intuizione per gettare le basi di una disciplina che poi terrà a debita distanza ogni affermazione solo intuita e non dimostrata, qualche disagio lo crea. D'altra parte, già Aristotele scriveva negli

Analitici secondi «sarà l'intuizione ad avere come oggetto i principi» e Pascal nei *Pensieri* «i principi si sentono, le proposizioni si dimostrano» (Odifreddi, 2013). E ancora Davies, «premesse [...] sono asserzioni o condizioni ritenute vere senza interrogativi ulteriori» (Davies, 1992). Queste regole che sembrano non venire mai infrante, gli “assiomi”, vengono considerate basi di partenza che si autogiustificano.

Questo è un pasticcio ben grande, ovvero è la solita difficoltà di trovare un terreno fermo su cui piantare la casa della conoscenza. In verità «Ci si potrebbe interrogare sull'origine della logica su cui si fonda ogni ragionamento scientifico» (Davies, 1992). Sembrerebbe qui che addirittura le basi di questa casa, la logica, siano alla fine scelte arbitrarie, scelte che noi facciamo perché non sapremmo come altrimenti muoverci. Come uscire fuori dalla contraddizione di fondare la logica a partire da assiomi “intuiti”? La soluzione che qui proponiamo è quella di attribuire alla inferenza deduttiva lo stesso statuto di quella induttiva: si tratta ancora una volta di un processo di generalizzazione di esperienze che si reiterano. Noi non “intuiamo” il principio di non contraddizione (o vale A o vale non-A) o il *tertium non datur* (o vale una o vale l'altra [$p \vee \neg p$]) ma più semplicemente lo esperiamo. Lo viviamo come verità inevitabile perché è ciò di cui facciamo esperienza. Tutti i principi e assiomi su cui si poggia la logica derivano, di nuovo, da un processo di generalizzazione della esperienza che noi facciamo delle proprietà e delle relazioni che intercorrono tra gli enti di realtà.

L'adozione delle regole della logica è quindi una scelta, non una necessità: il mondo nel quale noi sappiamo vivere non può fare a meno del principio di non contraddizione, non sappiamo convivere con la possibilità che A sia vero e contemporaneamente falso. Ma possiamo escludere un universo nel quale questo sia possibile? No, non lo possiamo escludere ma non è il nostro. Apparentemente.

In altri ambiti, ad esempio nella scala dei fenomeni quantistici, queste verità, questi assiomi "intuiti" non valgono. Una particella non è in un punto dello spazio e solo in quello, bensì è contemporaneamente in più punti. Ci sono assiomi della logica che non valgono in un mondo quantistico.

Quindi anche le regole fondanti della logica sono verità inferite nel senso induttivo, ricavate dalla nostra esperienza e sulle quali valgono gli stessi limiti di località di cui parlavamo prima, sono verità *hic et nunc* e che non possono escludere contesti, realtà, universi nelle quali non valgono.

A cosa è dovuta questa sottovalutazione dell'importanza di questo snodo, ovvero la presunta indiscutibilità degli assiomi *intuiti* della deduzione? La risposta è nel fatto che la cifra della novità della scienza nel senso moderno è venuta più dalla induzione e dal suo portato nella insistenza alla aderenza ai fatti, ai dati sperimentali che dalla deduzione. Alla pubblicazione nel 1620 del *Novum Organum* del filosofo britannico Francis Bacon, il punto di rottura con Aristotele non si consuma sulla logica

ma sul meccanismo dell'induzione, ossia un percorso che partiva dall'esperienza sensibile per arrivare a una conoscenza generale. Viceversa, il motorino della deduzione era un consolidato meccanismo ereditato dall'epoca greca. La differenza stava che prima la deduzione era utilizzata a partire da principi estratti dalla teleologia aristotelica o nella teologia cristiana, mentre nella nuova era vale la cautela di Newton, *hypotheses non fingo*, il quale si rifiutava di fare ipotesi sulle cause dei fenomeni naturali e dichiarava di volersi limitare a descriverne la dinamica. Quindi niente speculazioni sulla origine dei fenomeni e pura aderenza ai dati sperimentali. È così che dal XVII secolo si passa dal mondo delle opinioni, dell'*ipse dixit* e della fede al riscontro con i dati.

Ritornando alle osservazioni critiche sul metodo scientifico, nella storia della scienza ci sono stati casi dove si capiva che la combinazione di processo induttivo e deduzione non avrebbero condotto a una via d'uscita senza un radicale ripensamento dei paradigmi concettuali con cui si stava lavorando. Così è stato per la meccanica quantistica che ha sfidato sia l'induzione, concependo per la prima volta la discontinuità in grandezze come lo spazio e il tempo, che la deduzione, concependo la possibilità che lo stato di un sistema potesse essere contemporaneamente in A e non in A, ovvero in due stati diversi.

Detto ciò, la via d'uscita dalla *impasse* nella quale si trovava la fisica agli inizi del XX secolo è stata trovata attraverso un processo ulteriore, che non è strettamente parlando, né induzione né deduzione perché «la costru-

zione di teorie scientifiche non è, in generale, una procedura meccanica, ma un'attività creativa [...]. Il tipo di speculazione e immaginazione che gli scienziati devono impiegare non può essere formalizzato o ridotto a un insieme di regole» (Ladyman, 2001).

Tutto questo suggerisce che l'insistenza di tanti testi nel definire quale sia la procedura ortodossa del cosiddetto “metodo scientifico” può risultare del tutto improduttiva. Alcuni sono arrivati a sostenere che nel lavoro scientifico non c'è alcuna regola, altri hanno affiancato alla lenta accrezzione di piccoli progressi il concetto di cambiamento di paradigma e perciò di rottura della continuità. Tutti sforzi per dare una definizione condivisa che alla fine non riusciva mai a inglobare i vari casi storici. Nella prassi conta unicamente il risultato finale. L'indagine a ritroso del percorso di scoperta, che comunque avrà solo un carattere congetturale, è un plus opzionale, quello che conta e rimane è solo il risultato.

Alla fine, la scienza è pragmatismo e umiltà. E si fa con l'induzione, la deduzione, l'intuizione, la manipolazione, una corsa sulla spiaggia e qualunque altra cosa torni utile.

Un racconto su tutto quanto

La scienza esiste per costruire un racconto
della realtà



Rashomon è un film giapponese del 1950. Venne girato nella foresta vergine di Nara, nei dintorni di Kyoto, con un budget bassissimo, e venne messo in circolazione in Giappone il 25 agosto 1950 contro il parere dei dirigenti della Daiei Motion Picture Company (la casa produttrice). Grazie all'interessamento di Giuliana Stramigioli, docente di italiano presso l'Università degli Studi Stranieri di Tokyo e fondatrice della Italifim, Kurosawa riuscì a inviare il film in Italia, dove venne presentato al Festival di Venezia, vincendo il Leone d'oro. Pochi mesi dopo il film vinse anche un premio Oscar come miglior film straniero (il quale all'epoca era assegnato *ad honorem*). Rashomon viene spesso considera-

to un film sul relativismo e sulla molteplicità della verità, ma si tratta di un equivoco che sopravvive nonostante le dichiarazioni di segno opposto dello stesso regista. Nel film la verità è una e una soltanto, mentre a cambiare sono solo le versioni secondo l'interesse di chi le racconta. Il film tratta della capacità dell'uomo di mentire, e di mentire anche a sé stesso. Tutti i personaggi infatti mentono, lo fanno per salvare il proprio onore.

La verità quindi, secondo il regista Kurosawa, è una sola. Nella difficoltà di leggere quale essa sia, almeno questo punto fermo, ovvero che essa sia una sola, è importante. Abbiamo detto che lì fuori c'è qualcosa, una realtà esiste. Ed è qualcosa che si vede, di cui facciamo esperienza. E se non dobbiamo mentire per salvare il nostro onore, possiamo convenire di vedere tutti, grosso modo, la stessa cosa. Se non fosse così, se andassimo a sbattere contro il muro del reale ma ognuno in un modo diverso, sarebbe un problema, sia perché ognuno dovrebbe cavarsela da solo, sia perché ritorneremmo alla ipotesi che non si tratta di una realtà oggettiva, qualcosa che esiste anche quando noi non ci siamo, bensì qualcosa che esiste solo nella nostra mente. Insomma, allucinazioni. Abbiamo detto vediamo "grosso modo" la stessa cosa, ovvero non si intende che tutti proviamo e reagiamo allo stesso modo, anzi. Ognuno interagisce con la realtà in modo differente, personale, ma c'è una parte grande e importante che è la stessa per tutti e su quella si fa scienza. È da lì che si costruisce l'indagine e che la rende una impresa collettiva.

Questa è una considerazione centrale, un punto che normalmente non trova cittadinanza in un tradizionale testo di filosofia della scienza. Si tratta di un punto importante perché, a dispetto del fatto che si parli dei grandi geni della scienza come persone che maturano le loro scoperte in una sorta di trance creativo individuale (ed effettivamente è ciò che è accaduto molte volte), l'ontologia della scienza è nella condivisione. Persino Newton che riteneva di essere una specie di profeta erede della missione di Mosè e Cristo, non poté non ammettere che il suo lavoro era stato costruito sulle spalle dei giganti del pensiero che erano venuti prima di lui. La scienza non è una esperienza individuale, mistica, bensì lavora su quella parte della nostra esperienza che possiamo condividere. Il linguaggio scientifico è organizzato con il deliberato obiettivo di rendere questa condivisione la più efficace possibile eliminando ogni ambiguità, in modo che quando utilizziamo le medesime parole, intendiamo tutti le stesse cose. Questo approccio metodologico si è raffinato nel tempo con una costante ricerca di rigore lessicale, una ricerca che ha portato alla progressiva matematizzazione della gran parte delle scienze naturali.

Parlare di linguaggio, scientifico o meno, non può non richiamare alla mente chi del linguaggio ne fece improvvisamente l'architrave della ricerca filosofica: Ludwig Wittgenstein. Il suo contributo costituisce una discontinuità rispetto a una discussione sulla natura della conoscenza che aveva camminato fino ad allora su binari affatto diversi. A costo di ripeterci, proviamo a ricapitolare in due righe.

La filosofia della conoscenza nasce con i greci e segnatamente con i contributi di Socrate, Platone e Aristotele che danno una impostazione che rimarrà il riferimento per quasi due millenni. Socrate offre un contributo essenzialmente sul metodo: dialogo e ragionamento critico sono gli asset fondamentali nel lavoro di indagine filosofico. Platone si spinge oltre ed entra nel merito liquidando il mondo sensibile che percepiamo con i nostri sensi come un'ombra o una copia imperfetta del mondo delle Idee, le entità eterne, immutabili e universali che rappresentano la vera realtà e alla cui comprensione occorre tendere attraverso l'esercizio della pura ragione. Si affacciano qui le prime ipotesi su cosa sia la realtà, su quali elementi fondamentali la costituiscono, sulla possibilità che esista una realtà più fondamentale dietro quella sensibile (quella che si "vede").

Aristotele, allievo di Platone, ritorna invece sulle questioni di metodo e cerca di circostanziare meglio come si dovesse declinare l'invito di Socrate a utilizzare il contraddittorio per indagare. È lui che sviluppa il sistema di inferenza deduttiva noto come logica aristotelica (o sillogismo) e per questo viene considerato il padre della logica formale. Una volta assestato questo strumento, Aristotele prende le distanze da Platone e dalla sua diffidenza verso i dati sensibili e viceversa sostiene che la conoscenza si basa sull'esperienza sensoriale e sull'osservazione del mondo naturale: la conoscenza si sviluppa attraverso la percezione dei singoli oggetti e l'induzione delle loro caratteristiche comuni. Sviluppa inoltre una classificazione

sistematica delle discipline scientifiche, sostenendo che la conoscenza può essere suddivisa in diverse scienze specializzate, come la biologia, la fisica, la psicologia, l'etica, la politica, la logica e altre ancora. Un approccio sistematico che influenzerà la struttura e l'organizzazione delle discipline scientifiche per secoli.

A voler essere grossolani, si può dire che dopo la terna Socrate, Platone e Aristotele, con i quali arriviamo al IV secolo a.C., occorrerà aspettare il XVI secolo d.C., quindi 2000 anni, per trovare qualche novità. E queste arrivano da Descartes. Con lui riparte la discussione sulle questioni metodologiche, con la tesi netta di attribuzione di uno statuto affatto particolare al "dubbio". Non è facile apprezzare oggi lo spessore di una posizione del genere ma, dopo secoli di *ipse dixit* cioè di verità come adesione a fonti considerate assolute, una richiesta di azzeramento di ogni certezza costituiva una profonda discontinuità. Il dubbio metodico mette in discussione tutte le credenze e le conoscenze acquisite, sottoponendole a un rigoroso esame critico con l'obiettivo di trovare una base solida e indubbiamente da cui partire per la comprensione del mondo.

Descartes entra nel pieno di un confronto in corso tra razionalismo (di cui è un esponente insieme con nomi come Spinoza e Leibniz) ed empirismo (Locke, Hume, Berkeley), correnti di pensiero che si confrontavano sul primato da attribuire alla esperienza sensibile piuttosto che alla ragione. In questo nulla di nuovo sotto il Sole, benché sia qui che il filosofo tedesco Immanuel Kant (1724-1804) compie una autentica rivoluzione nel campo

dell'epistemologia. Nella *Critica della ragione pura*, ne abbiamo già fatto cenno, sottolinea l'importanza dell'esperienza sensoriale ma dentro un ruolo attivo della ragione (e delle “sintesi a priori”) nell'organizzare e interpretare le percezioni. A un primo sguardo sembra una soluzione salomonica che dà un colpo alla botte e uno al cerchio ma nella pratica si traduce in una relativizzazione della realtà che non ha più una ontologia a sé ma diventa più prosaicamente il risultato delle nostre categorie interpretative applicate ai dati di esperienza. Cambiando il modo in cui si esperisce il mondo e/o le categorie con cui interpretiamo i dati di esperienza, ci troveremmo di fronte a una “realità” ogni volta differente. Niente male quanto a cambiamento di prospettiva.

E torniamo ora a Wittgenstein. Dopo secoli di discussione sulla affidabilità dei nostri sensi, su dove mettere il confine tra transeunte ed eterno e sulla natura ultima del mondo, con la intuizione del filosofo austriaco arriva un ulteriore colpo di declassamento della ontologia della realtà: il linguaggio con cui parliamo del mondo ha un ruolo tutt'altro che ancillare ma anzi è lo strumento attraverso il quale noi costruiamo la nostra idea di realtà e, in ultima analisi, è la realtà stessa. Secondo Wittgenstein, il linguaggio non è solo uno strumento per esprimere pensieri e comunicare, ma definisce la nostra comprensione del mondo e, in ultima analisi, ciò che noi chiamiamo realtà.

Come se non bastasse, Wittgenstein argomenta che il significato delle parole non è fissato in modo oggettivo,

ma è determinato dall'uso che ne facciamo all'interno di una comunità linguistica. Enfatizza cioè il carattere contestuale e situazionale del linguaggio, sottolineando che le parole ottengono il loro significato attraverso l'uso pratico all'interno di specifici contesti sociali. Non possiamo sostenere che Wittgenstein negasse l'esistenza di una realtà oggettiva, ma certo che la nostra comprensione di essa sia mediata dal linguaggio e dal contesto sociale in cui viviamo ne sminuisce di parecchio lo statuto. Insomma, quanto alla ricerca del noumeno, peggio di così non sarebbe potuta andare.

Linguaggio dunque. Stiamo ovvero parlando di comunicazione e se oggi parliamo di comunicare, non possiamo non accedere ai paradigmi concettuali della teoria dell'informazione e affrontare il nodo individuato da Claude Shannon nel 1948: «il problema fondamentale della comunicazione è quello di riprodurre in un punto, o esattamente o in modo approssimato, un messaggio selezionato in un altro punto» (Shannon, 1948). Nel nostro caso, quello del discorso scientifico, il messaggio che noi vogliamo convogliare è “la rappresentazione dell'universo”. È vero, detto così, sembra un obiettivo ambizioso, se non irraggiungibile, ma le cose stanno proprio così. Noi vogliamo raccontarci la nostra esperienza del mondo e interrogarci insieme su come stanno le cose. È in quell’“insieme” che si gioca la cifra del problema: per fare qualcosa insieme, dobbiamo condividere della informazione, nella fattispecie una visione, un modello del mondo. La difficoltà è che da una parte c'è una realtà che ap-

pare enormemente complessa (e che perciò vorrebbe un messaggio di enormi dimensioni), dall'altra il canale di comunicazione di cui siamo capaci non è altrettanto grande. Se si trattasse di descrivere una realtà statica, basterebbe una istantanea, una foto. Ma la realtà è cambiante quindi non basta una sola istantanea, dovremmo realizzare un film con istantanee successive ma in questo caso non c'è MP4 che tenga, saremmo sommersi di dati. Dobbiamo tentare altre strade. Dobbiamo trovare delle ricorrenze, delle regolarità che ci possono aiutare nel lavoro di compattazione del messaggio. E qui ci soccorre, l'abbiamo già detto, che l'universo non cambia casualmente, non è puro caos. Abbiamo già apprezzato questa circostanza e lo facciamo ancora ma qui per un differente motivo. Prima lo abbiamo fatto perché in un mondo razionale è possibile organizzarsi per vivere, ora lo apprezziamo perché se la realtà fosse solo caos percepiremmo segnali di puro rumore, dove i valori in un certo istante non risulterebbero correlati a nessun valore degli istanti precedenti e non si potrebbero inserire in nessun pattern ordinato che possa essere utilizzato per calcolare i valori degli istanti successivi, non ci sarebbe spazio per nessuna capacità interpretativa o predittiva. Se un segnale è puro caos non contiene informazione e non c'è modo che possa essere compattato, l'unica descrizione del caos è sé stesso, non c'è nessuna riduzione della dimensionalità. Se avessimo una velocità di trasmissione e una capacità di memoria infinita non sarebbe un problema, non avremmo bisogno della scienza e seguiremmo il suggerimento di

Wittgenstein (sempre lui) il quale dichiarava «il mondo è tutto ciò che accade» (Wittgenstein 1921). Si tratta di un punto di vista ineccepibile. Non c'è descrizione più attendibile del mondo che il resoconto fedele di ciò che accade e nessuna altra descrizione potrà mai competervi quanto a completezza (chiedo scusa ai filosofi per questa forzatura delle parole di Wittgenstein, il quale intendeva qualcosa di meno cibernetico).

Senza uno stratagemma, nel caso di un universo irriducibilmente caotico, a volerne costruire una descrizione, ne viene fuori un resoconto “lungo”, una informazione difficile da trasferire per la sua imponenza. L'ipotesi che abbiamo già fatto è che esistano delle leggi che regolano il mondo naturale e quindi per raccontare la realtà non è necessaria una descrizione che sia la pura copia della realtà ma è possibile accedere a una rappresentazione equipollente che chieda meno dati. Quanto “meno dati”? Quanto minori sono le nostre velocità di trasmissione, capacità di memoria e potenza computazionale, tanto più dobbiamo trovare strumenti che condensino la informazione in un numero minore di dati. Di fronte alla medesima realtà, si possono sviluppare diverse rappresentazioni, ovverosia diverse “scienze”. La nostra, quella dell'*homo sapiens*, è la scienza di un cervello la cui capacità di calcolo si ottiene «moltiplicando circa 10^{11} neuroni per circa 10^4 connessioni per neurone e circa una (100) attivazione per neurone al secondo, si potrebbe pensare circa 10^{15} FLOP (operazioni in virgola mobile eseguite in un secondo)» (Tegmark, 2017). Che il calcolo proposto da Tegmark sia esatto ora importa poco,

e la stessa analogia tra computer e cervello, benché oggi largamente utilizzato, può risultare fuorviante e potrebbe rivelarsi alla fine sbagliata (Cobb, 2020), ma quello che qui ci preme mettere in luce è che, comunque sia organizzato il cervello umano, non è a capacità infinite. Da una parte c'è l'universo, dall'altro ci sono le dimensioni finite delle risorse di calcolo che noi abbiamo a disposizione. La scienza è la ricerca di soluzioni efficaci sulla base delle risorse finite che abbiamo. Solomonoff, un immigrato russo che studiò a Chicago, si concentrò segnatamente sul problema della compattazione dei messaggi ed ebbe a scrivere: «Le leggi scientifiche che sono state scoperte possono essere considerate riassunti di grandi quantità di dati empirici sull'universo» (Solomonoff, 1964). Forse è per questo che troviamo «elegante» la sinteticità di molte espressioni matematiche.

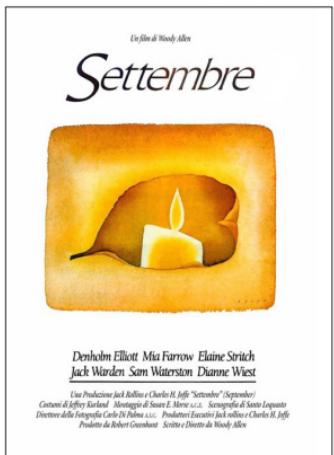
Proprio perché i modelli scientifici non rispondono alla esigenza di una rappresentazione totalmente fedele della realtà ma a quella di fornire la migliore descrizione possibile si può dire con Sir Terry Pratchett che «i modelli scientifici non sono veri, ed è proprio questo che li rende utili. Essi raccontano storie semplici che le nostre menti possono afferrare. Sono bugie per bambini, storie semplificate per insegnare, e non c'è nulla di male. Il progresso della scienza consiste nel raccontare bugie sempre più convincenti a bambini sempre più sofisticati» (Cohen, Pratchett, Stewart, 2003).

Sulla scorta di quello che abbiamo appena descritto, la visione di Wittgenstein cessa di essere soltanto un

punto di vista plausibile così come ne esistono altri. No, il peso specifico del linguaggio trova una base nei numeri del problema. Se vale, e crediamo che valga, una organizzazione piramidale della conoscenza, realtà-percezione-elaborazione-modellizzazione-comunicazione, il linguaggio diventa l'esito di un cammino che passa attraverso una serie di colli di bottiglia per arrivare a costruire una visione del mondo di cui è difficile dire in quale relazione sia con il punto di partenza ma questa è la sfida. Era dunque corretta la intuizione di Wittgenstein sebbene non avesse allora gli elementi che abbiamo oggi per sostanziarla.

(Quasi) tutto

La scienza si fa allo stato dell'arte, ma non è arte



- In quale branca della fisica sei coinvolto?
- Qualcosa di molto più terrificante che far saltare in aria il pianeta.
- Davvero? C'è qualcosa di più terrificante che la distruzione del mondo?
- Sì. Il sapere che non ha importanza in che modo finisce. Che è tutto casuale. Originato dal niente senza uno scopo e...

che alla fine svanirà per sempre. E non sto parlando del mondo. Sto parlando dell'universo. Tutto lo spazio, tutto il tempo, solo... una convulsione temporanea. E vengo pagato per dimostrarlo.

- Ne sei sicuro, quando guardi fuori in una notte come questa e vedi tutti quei miliardi di stelle? E niente di questo avrebbe importanza?
- Io come te trovo che è bellissimo. E vagamente evocativo di qualche profonda verità che continua sempre a scivo-

lare via. Ma poi la mia ottica professionale prende il sopravvento... una meno illudente penetrante concezione... e la prendo per quello che è in effetti. Una pura casualità... moralmente neutrale... e inimmaginabilmente violento.

– Senti, non avremmo dovuto avere questa conversazione. Devo dormire da solo stanotte.

– Ecco perché mi aggrappo a Diane... e mi considero molto fortunato. È calorosa e vitale e mi tiene mentre dormo. In questo modo non devo sognare fotoni e quark.

Settembre è un film del 1987 di Woody Allen. I protagonisti del dialogo di sopra sono uno scrittore e un fisico. La Diane di cui si parla è la compagna del fisico, una donna apparentemente fatua e superficiale. Lo scrittore non chiede al suo interlocutore come abbia potuto scegliere una persona così diversa da lui ma non meraviglia la puntualizzazione non richiesta del fisico: «È calorosa e vitale e mi tiene mentre dormo. In questo modo non devo sognare fotoni e quark». Da una parte fotoni e quark, dall'altro qualcosa di caloroso e vitale. Il chiaro riferimento è a un doppio canale di esperienza, una dimensione del sapere razionale e una parallela di cui, vedremo, si riesce a dire più ciò che non è piuttosto che ciò che è.

Nel capitolo precedente abbiamo abbozzato una visione “informatica” della realtà, quella per la quale si può dire che «i dati sono descrizioni del mondo che ci circonda, raccolti attraverso l’osservazione e archiviati su computer» (Adhikari, DeNero, Wagner, 2021).

A fianco a questa, ci sono oggi le recenti scoperte che provengono dalle scienze neurologiche le quali hanno gettato nuova luce su come il cervello organizza il suo lavoro. Il meccanismo di elaborazione dei dati sensoriali era rimasto a lungo indeterminato e si è sempre ritenuto che si materializzasse in una registrazione ed elaborazione permanente di dati. In realtà ne abbiamo già parlato, sembra che le cose non stiano proprio così. Per certo i dati sensoriali non vengono tutti registrati, occorrerebbe una memoria enorme per farlo. Quando si ha poca memoria, bisogna arrangiarsi. Una soluzione può essere quella di conservare i dati recenti sovrascrivendo su quelli vecchi ma non è così che funziona perché finiremmo per avere memoria solo delle esperienze recenti e sappiamo che non è così. Il cervello costruisce nel tempo un modello, una rappresentazione sua, interna, della realtà e i nuovi dati sensoriali non fanno altro che aggiornare questo modello (Land, 2014). Accade così che quando riflettiamo sul mondo, riflettiamo sulla rappresentazione interna che abbiamo costruito nel corso del tempo. Riflettere sul mondo è perciò prima di tutto un dialogo con noi stessi, una elaborazione su un contesto nel quale siamo immersi ma che osserviamo in quella copia che abbiamo costruito dentro di noi. È questa rappresentazione interna che diventa disponibile alla comunicazione e che fa di noi innanzitutto questo: lingua, verbo, comunicazione. Ciascuno di noi sperimenta una realtà altra, ne costruisce una rappresentazione e la confronta con quella delle persone in-

torno a lui. Costruisce un racconto, una idea del mondo e la propone agli altri.

Se questo è lo schema, ne derivano almeno due implicazioni importanti. La prima è che la impresa scientifica è per sua natura una impresa pubblica, trasparente, che procede per accrezione di contributi documentati e rendicontati in modo da diventare patrimonio condiviso. Una teoria scientifica per essere tale deve essere resa disponibile a tutti (magari per essere replicata e sottoposta a verifica). Ogni conoscenza che rimane esperienza personale, che non viene condivisa, oltre che a essere destinata a scomparire, non è scienza.

La seconda è che la condivisione di un risultato scientifico è resa possibile da un linguaggio e da una procedura che consenta di incapsulare un contenuto di informazione che risulti univocamente decodificabile e disponibile a poter eventualmente realizzare tutte le verifiche del caso. Questo non implica che tutti i pacchetti di informazione a decifrabilità univoca siano scienza (la nostra vita quotidiana è piena di affermazioni che si riferiscono a esperienze chiaramente descrivibili e replicabili ma che sono pura routine) ma questa è una condizione necessaria (anche se non sufficiente) nell'ambito del lavoro scientifico.

Se mettiamo insieme tutti questi aspetti, ne viene fuori che la dimensione della socialità dell'essere umano si trova molto più rappresentata nel lavoro scientifico che nelle esperienze estetiche. Ad esempio, nella poesia, è legittimo e atteso che ciascuno abbia una sua lettura del medesimo testo in una sorta di esperienza così personale

da poter risultare non comunicabile. Avere chiaro questo punto aiuta a rispondere a coloro che obiettano che la scienza non è la risposta a tutte le domande della vita. Chi avanza questa obiezione allude agli affetti, le emozioni, le inquietudini o la spiritualità che non trovano cittadinanza nel discorso scientifico. Certamente è così, la scienza non si occupa, non può e non vuole entrare in quegli ambiti che sono totalmente soggettivi e sono tutta un'altra sezione della nostra esistenza, spesso completamente individuale.

Se si accetta questo punto di vista, allora il vissuto di molte persone, il cui contenuto di realtà appare indiscutibile ed è oggetto di narrazione e fonte di una dimensione spirituale ed estetica della vita senza la quale esistere sarebbe penoso («È calorosa e vitale e mi tiene mentre dormo. In questo modo non devo sognare fotoni e quark»), non può entrare nella categoria della conoscenza scientifica. L'emozione di fronte alla luce dell'alba o il turbamento della musica, ma anche i moti di affetto, sono tutte esperienze “personalì” non suscettibili di proceduralizzazione univoca e perciò di replicazione affidabile. Si tratta di esperienze dove ciascuno rendiconta (o, perlomeno, tenta) la propria esperienza ma è informazione difficilmente condivisibile. Di fronte a un quadro di Picasso, possiamo provare una emozione profonda che risulterà per niente trasferibile alla persona a fianco che si sta annoiando.

Abbiamo quindi, quanto alla dimensione esperienziale della vita, una sorgente che è quella dei “segnali”

che vengono dall'esterno, e in parallelo ne abbiamo altri che vengono dall'interno. Mentre pensiamo di avere abbastanza chiaro cosa siano i primi, legati alle percezioni die nostri cinque sensi, è meno chiaro cosa dobbiamo intendere per segnali “interni”. Sono sorte molte discipline che cercano di mettere ordine nella natura di queste sensazioni interne, quelle che si situano in quell'ambito psichico dai contorni assai incerti. Non ci avventureremo in questa sede a dare una qualsivoglia rendicontazione di queste discipline, crediamo però che il cammino della scienza abbia riversato effetti collaterali anche in questo ambito. Proviamo a spiegare perché.

La scala dei tempi della nostra vita individuale, qualcosa che oggi sta intorno ai 100 anni o 10^2 anni (come scriverebbero i fisici), si confronta faticosamente con quella della vita biologica in generale che è comparsa sulla Terra da circa 3 miliardi (10^9) di anni. Quest'ultima è regolata da un calendario evoluzionistico che conosce solo le macroscopiche sfide dell'adattamento per la sopravvivenza, dentro una scala dei tempi nei quali la nostra vicenda individuale è del tutto irrilevante. Se poi ci confrontiamo con la scala temporale dei fenomeni fisici della formazione ed evoluzione delle galassie, che comunque è il teatro del mondo materiale nel quale siamo inseriti, la situazione non fa che peggiorare. La occorrenza della nostra vita e di qualunque persona abbia popolato questo pianeta è, nello spazio e nel tempo, incomprensibilmente trascurabile. Ora, non stiamo dicendo che ci alziamo la mattina con l'angoscia di dare senso al calendario nostro, quello

di una qualche decina di chili di materiale biologico posato su una pallina che ruota intorno a una stella, ma l'onda lunga della illeggibilità di una scenografia esistenziale così sbilanciata può generare un qualche disagio, una insostenibile leggerezza dell'essere («C'è qualcosa di più terrificante che la distruzione del mondo?». «Sì. Il sapere che non ha importanza in che modo finisce. Che è tutto casuale. Originato dal niente senza uno scopo e... che alla fine svanirà per sempre...»). È difficile quantificare quanto la nostra vita interiore possa essere segnata da questo riposizionamento della vicenda umana nel contesto del mondo naturale ma c'è il sospetto che ci sia una parte di noi, segnatamente quella della dimensione "spirituale", che cerca di lenire e di condividere la fatica di questa sfida. È questo disagio che il fisico del dialogo del film sente il bisogno tenere sotto controllo attraverso *il calore e la vitalità* di una persona a fianco a lui. L'arte è stata ed è la testimonianza di questa partita contro la indifferenza della natura al nostro destino individuale e persino alla nostra sofferenza. Si tratta di una dimensione della ricerca intellettuale e spirituale che non porta contributi quanto alla conoscenza del "come" ma trasforma il vuoto di senso che ciascuno di noi può avvertire in una esperienza collettiva e questo lenisce la pena.

Ecco, dunque, che la scienza non entra in ambiti che non le sono propri ma questo non significa che non ci sia interazione tra le due sfere.

Le modalità di interazione con questo mondo interiore hanno caratteristiche molto più difficili da descrivere

e su cui è difficile avere una idea condivisa. Nondimeno c'è un grande interesse su questo versante anche da parte di esperti ricercatori:

Personalmente non ho mai avuto un'esperienza mistica, ma riguardo al valore di tali esperienze ho un atteggiamento aperto. Forse ci aprono l'unica via che vada oltre i limiti ai quali ci possono portare la scienza e la filosofia.
(Davies, 1992)

Suona strano e inatteso che uno scienziato come Davies si lasci andare a una apertura di credito così grande verso l'esperienza mistica come via di conoscenza. Ma non è l'unico. Anche Sean Carroll argomenta: «Può darsi che le esperienze trascendenti nascano da una connessione diretta con un livello superiore di realtà». Ora si può essere d'accordo sempre con Carroll nel ribadire che «la scienza dovrebbe essere interessata a determinare la verità, qualunque essa sia: naturale, soprannaturale o altro» (Carroll, 2016). Secondo noi, però, il punto è un altro. Ripetiamo, il cammino della scienza è fondamentalmente un cammino di gruppo, costruito su procedure replicabili affinché l'informazione sia trasferibile. Una esperienza mistica, un contatto con un ordine superiore della realtà, è qualcosa che si può tradurre in un pacchetto di informazione decodificabile da chi lo riceve? Se non è così, si tratta di esperienze che non possono entrare a far parte di un corpo di conoscenze collettive. Si tratta di una esperienza individuale, una esperienza estetica. Ciò che

qui si vuole intendere non è tanto che si tratta di fenomeni che non esistano bensì che viene meno un requisito essenziale perché vengano a far parte della conoscenza condivisa. Questo non significa che non potranno mai cambiare di status. Molte esperienze come i fenomeni elettromagnetici hanno avuto a lungo un carattere magico fintanto che non si è scoperta la legge che ne regolava il comportamento. Anche su certi fenomeni “spirituali” è possibile che un giorno si scoprirà quale ne sia l’origine e come si possano riprodurre ma fintanto che questo non accade non potranno che essere considerati esperienze, appunto, interiori e non scienza. D’altra parte, proprio in ragione della non comprimibile individualità di ciascuno di noi, è ben possibile che esista un ambito di esperienza che è e rimarrà irriducibilmente specifico e non c’è niente di male.

Dobbiamo dare spazio a questa altra dimensione della nostra vita intellettuale, la dobbiamo nutrire perché la nostra capacità di fare scienza, di stare con gli altri per cercare insieme la risposta alla vita e tutto quanto, si fonda su qualcosa che sia «calorosa e vitale e mi tiene mentre dormo».

In realtà... si tratta sempre di numeri

La scienza esiste perché la realtà è computabile



- Peter, questa è opera sua?
- Soprattutto del signor Dale.
- Ma è un suo report?
- Sì, ripeto, ho ampliato il lavoro del signor Dale, ma sì.
- Qual'è il suo background?
- Il mio background?
- Il curriculum.
- Sono qui da due anni e ho sempre lavorato con Eric. Ma ho un dottorato in inge-

gneria, specializzazione in propulsione al MIT, conseguito dopo la laurea.

- Cos'è una specializzazione in propulsione?
- Studia i modi in cui in aeronautica il rapporto dell'attrito incide sull'esito della virata, in condizioni di carico ridotto.
- Quindi lei progetta razzi?
- Li progettavo, sì.

- Interessante. E come è finito qui?
- In realtà si tratta sempre di numeri, cambia solo quello che sommi. E, ad essere sinceri, lo stipendio qui è notevolmente più attraente.

Queste battute sono estratte dal film del 2011 *Margin Call*. Il film si svolge nell'arco di 24 ore presso una banca d'investimento. La trama è incentrata sui meccanismi che hanno innescato la crisi 2008-2009 e il contesto è quindi quello del mondo finanziario. Nel cuore della notte viene convocata una riunione d'emergenza dei dirigenti della banca per discutere una segnalazione partita da un giovane ricercatore (Peter) che predice l'imminente debacle della società. A presiedere la riunione è il capo dei capi il quale vuole innanzitutto sapere chi sia questo Peter che ha originato tanto allarme e scopre che si tratta di una persona che non ha nessuna specifica formazione finanziaria bensì “progetta razzi”! Un ingegnere aeronautico è lì a segnalare agli specialisti finanziari che siedono intorno a lui un problema grande, molto grande, che loro non avevano visto. Come è possibile? Cosa c'entra la matematica con cui si progettano i razzi con quella che simula i flussi finanziari? C'entra, come spiega Peter, «in realtà, si tratta sempre di numeri».

Di questo stupore dà testimonianza Mario Tronchero in un volume dedicato a Wittgenstein:

Perché i numeri servono per contare? Per quale ragione, cioè, segni scritti sulla carta e regolati da leggi non dissiden-

mili in linea di principio dalle leggi di un giuoco possono essere applicati agli oggetti più disparati? Per quali ragioni i risultati dei calcoli, pur applicandosi a oggetti diversissimi, rimangono rigorosamente costanti? Perché un calcolo non può mai essere falsificato o verificato dall'esperienza, e che cosa conferisce alle proposizioni della matematica quella necessità intrinseca, quella forza di costrizione logica, secondo la quale una proposizione come $<2+2=4>$ non può mai essere messa ragionevolmente in dubbio? Perché possiamo immaginare avvenimenti o cose che contraddicono alle leggi della fisica e persino a quelle della geometria, mentre qualcosa che contraddica alle leggi dell'aritmetica è assolutamente impensabile? (Tronchero, 1998)

Lo abbiamo fatto tante volte e finiamo per ritenerlo naturale. Dal semplice far di conto nella spesa al supermercato fino alla progettazione di ponti, i simboli matematici sono entrati nella nostra vita senza che oramai ci stupiscano più. Ma come facciamo a fidarci di entrare in un grattacielo e andare al cinquantesimo piano senza timore che possa sbriciolarsi solo perché qualcuno ha scarabocchiato da qualche parte un po' di segni e ha detto che va bene così? Sì, lo so, sono state fatte delle prove statistiche, sono stati effettuati dei collaudi prima di licenziare l'edificio ma lo scrupolo del collaudo viene per prevenire la eventualità che ci siano stati degli errori nei calcoli o in fase di costruzione ma, a parte questa eventualità, se i calcoli sono stati effettuati senza errori e la costruzione è avvenuta a regola d'arte, non ci sono dubbi, il grattacielo

reggerà. Il comportamento dei materiali, delle geometrie spaziali degli stress, delle usure distribuite nel tempo, tutta la congerie di parametri che entrano a comporre l'equilibrio che fa di un grattacielo una struttura stabile è rappresentato in poche pagine di simboli matematici che si allungano con dei disegni ma quelli stanno lì per dare la rappresentazione grafica di ciò che si sta calcolando, è un plus opzionale, potrebbero non esserci. Mentre guardi quei conti, stai guardando quel grattacielo. Tonnellate e tonnellate di materiale organizzati in un volume di centinaia di metri cubi che si riesce ad abbracciare a fatica con uno sguardo, è racchiuso magari in una sola pagina. Non ci facciamo più caso ma la possibilità di modellare la realtà con la matematica ha qualcosa di stupefacente.

Non è sempre stato così. Anzi, si tratta di una consuetudine relativamente recente. Correva l'anno 1846 quando Giove, Saturno e Urano, allora i più grandi pianeti conosciuti, giravano *comme d'habitude* intorno al Sole. La loro traiettoria non era quella dell'ellisse perfetta calcolata da Keplero bensì una leggermente differente e che teneva conto del fatto che ciascun pianeta esercitava vicendevolmente una propria forza gravitazionale che si aggiungeva a quella del Sole. In molti si cimentarono a calcolare questa differenza e alla fine dei calcoli, per verificarne la bontà, vennero organizzate delle osservazioni dedicate. Ne venne fuori che Giove e Saturno si muovevano secondo le previsioni, mentre Urano faceva qualcosa di bizzarro. Due astronomi, Adams e Leverrier, fecero questi conti indipendentemente l'uno dall'altro,

quasi nello stesso tempo, ed entrambi suggerirono che gli scarti del moto di Urano fossero dovuti alla presenza di un pianeta non ancora scoperto. Scrissero lettere ai rispettivi osservatori dicendo: «Puntate il vostro telescopio, guardate là e troverete un pianeta». Commentò uno degli osservatori: «Assurdo, questo tipo se ne sta lì con carta e matita e viene a dirci dove trovare un pianeta nuovo» (Tronchero, 1988). Nettuno, così sarebbe poi stato chiamato, venne osservato esattamente lì dove era stato predetto. La matematica aveva “visto” ciò che ancora non era stato visto. Quella scoperta fece enorme scalpore, portò alla luce in modo inequivocabile che l'uomo aveva acquisito un senso ulteriore, un sesto senso e questo era la matematica. Ciò che può essere calcolato, anche se non può essere direttamente oggetto della nostra esperienza, entra a far parte della realtà con la stessa dignità delle cose che tocchiamo, vediamo, ascoltiamo. Attraverso il calcolo finiamo per indovinare pezzi di mondo che sappiamo esistere anche se non li vediamo. Confidiamo su questo sapere e *azzardiamo* delle previsioni.

Siamo perciò qui a sorprenderci due volte: non solo la natura manifesta caratteri di razionalità ma sappiamo anche come descrivere questa razionalità. Alla fine, senza neanche teorizzarlo più di tanto, la matematica si è affermata come il linguaggio attraverso il quale si indaga questo strato profondo. Le conseguenze di questa irragionevole efficacia della matematica non si fermano al fatto che abbiamo trovato un linguaggio comodo per raccontare in che modo la natura sia razionale, ma vanno

al di là. La matematica disegna e dà forma a strutture che si ritrovano identiche sotto le vesti di molte contingenze. Qualcuno come Max Tegmark arriva a dire «non è che la matematica descriva la realtà, la matematica è la realtà» (Tegmark, 2014). Secondo il fisico svedese noi “inventiamo” il linguaggio della matematica ma “scopriamo” le strutture matematiche nel senso che esse esistono indipendentemente da noi, non sono un nostro modo di interpretare la realtà. Lì dove questa corrispondenza non esiste, nasce il dubbio che si stia parlando del nulla. «Ciò che non può essere calcolato è privo di senso» (Davies, 1992). Ma è veramente così? Molti lo credono. La fascinazione a immaginare che questo strato sottostante, profondo, sia “la” realtà, è la versione aggiornata di un platonismo che non cessa mai di tornare.

Non vogliamo qui inoltrarci in dettagli di strutture matematiche particolari ma un esempio vogliamo portarlo: il moto armonico. Si scrive moto armonico e si legge una serie senza fine di casi particolari. Gli ingredienti sono una forza di richiamo e un elemento di inerzia. Dal pendolo alla molla che si comprime, dalla corrente in un circuito LC alle vibrazioni molecolari, dalle onde acustiche fino alle onde di plasma, tutti questi fenomeni sono descritti da una medesima legge. Il moto armonico non descrive uno specifico oscillatore ma solo un tipo particolare di relazione. Questo potrà poi concretizzarsi nel contesto di fenomeni gravitazionali, elettrici, acustici. «Se il calcolo è il concetto più pervasivo nella nostra descrizione del mondo fisico, l'oscillatore armonico è

probabilmente il secondo più prossimo. Gli oscillatori armonici compaiono in meccanica, elettromagnetica, elettronica, ottica, acustica e meccanica quantistica, solo per citarne alcuni. Il semplice oscillatore armonico è un elemento fondamentale nel nostro sistema di conoscenza dell'universo fisico» (Bloch, 2013). Il moto armonico è un caso emblematico di come di una medesima relazione siano possibili rappresentazioni funzionalmente equivalenti nelle quali ciò che cambia è solo il supporto hardware attraverso le quali esse si inverano. Va da sé che nello scegliere fra tutte le possibili rappresentazioni di un sistema, utilizzare l'equazione che lo descrive, e che quindi prescinde da qualsiasi hardware, è la strada più veloce e pratica ed è per questo che, tra varie rappresentazioni equivalenti, preferiamo quella matematico-simbolica.

La riconducibilità alla stessa rappresentazione matematica di sistemi differenti è una proprietà nata nell'ambito delle scienze dure ma inevitabilmente si è tentato di estenderla anche in problemi lontani dalla fisica e dalla chimica. La diabolica efficacia della matematica nella descrizione del mondo fisico ha acceso l'interesse a cercare questa corrispondenza anche nella descrizione di fenomeni non naturali. È per questo che Peter viene assunto dalla banca di investimenti in cui è ambientato il film di sopra, per utilizzare quelle rappresentazioni matematiche nel mondo della finanza. Dalle leggi che regolano l'economia, e segnatamente i mercati finanziari, fino ai modelli di diffusione epidemiologici, c'è tutta una pletora di fenomeni specifici delle scienze sociali dove

la efficacia della modellizzazione matematica ha trovato altrettanto lustro. Questo sembra indicare che non esiste nessuna particolare relazione tra natura e strutture matematiche ma che più banalmente c'è una compattezza ed efficacia della matematica nel descrivere le relazioni tra enti che la rende lo strumento migliore d'indagine, sempre e comunque.

In conclusione, possiamo dire che esistono due modi di inoltrarci nella realtà a caccia delle leggi che la regolano: la sperimentazione e il calcolo (i cui risultati poi dobbiamo sempre verificare sperimentalmente). Utilizzo qui l'espressione "calcolare" e non immaginare perché la matematica ci ha rivelato dimensioni "calcolate" della realtà che non solo non si possono sperimentare ma che non si possono neanche immaginare.

La convinzione che la rappresentazione simbolico-matematica abbia in sé un carattere particolare, di *primus inter pares*, incrocia anche una evoluzione di progressiva riduzione del molteplice verso l'essenziale, alla ricerca della maggiore comprimibilità algoritmica possibile; per dirla con John Barrow, «la scienza è un corollario della convinzione che l'universo è algoritmicamente comprimibile» (Davies, 1992).

Tutto ciò, al netto di un *caveat* importante: «le leggi fisiche hanno due compiti da svolgere: devono fornire gli schemi semplici che stanno alla base di tutti i fenomeni fisici, ma devono anche avere una forma che permetta l'emergere della profondità, della complessità organizzata» (Davies, 1992). Ne ripareremo più avanti.

La computabilità della realtà si intravedeva già al bivio della razionalità. Se la realtà fosse caos, non ci sarebbe computabilità, ma neanche scrittura, discorso ragionato, non ci sarebbe vita. La vita può svilupparsi in una realtà non transeunte, stabile, magari ciclica ma comunque intorno a una qualche “struttura”. Se così è, questa “struttura” dovrà trovare un linguaggio attraverso il quale si possa esprimere, una forma con cui possa essere descritta perché, ricordiamoci quello che abbiamo detto nel capitolo precedente, noi vogliamo raccontarci la realtà. E la matematica appare il linguaggio più efficace per farlo.

Sbagliare da professionisti

La scienza esiste per essere smentita



que essa sia. E noi ce la riguardiamo passo per passo per evitare ogni intoppo. Siamo tutti un po' stanchi, quassù. E la Terra si avvicina sempre di più. [...]

GENE: No, non voglio tutta la Bibbia, mi bastano un paio di versetti, dobbiamo mandargli su qualcosa.

DEKE: Ci stanno ancora lavorando.

FAO: Chiamo il simulatore e gli chiedo una previsione, d'accordo?

GENE: No, basta! Non voglio un'altra previsione! Voglio le procedure! Adesso!

JIM: Houston, noi gradiremmo molto la procedura di rientro, quassù. Quand'è che potremmo averla?

ANDY: Eh... sta arrivando al galoppo, Aquarius.

JIM: Eh, Houston, noi non possiamo fare tutto insieme all'ultimo minuto. Ecco, sentite come facciamo. Ci dite adesso la procedura. Qualun-

Questo colloquio è nel film *Apollo 13* realizzato per ricostruire la vicenda realmente accaduta della missione Apollo 13 decollata l'11 aprile 1970, che doveva essere la terza missione a sbarcare sulla Luna. Divenne celebre per il guasto che impedì l'allunaggio e rese difficoltoso il rientro sulla Terra. Un'esplosione nel modulo di servizio, quello destinato al rientro degli astronauti sulla Terra, danneggiò molti equipaggiamenti, riducendo notevolmente la disponibilità di energia elettrica e di ossigeno. I tre astronauti furono costretti a trasferirsi nel modulo lunare Aquarius, utilizzando quest'ultimo come navicella per il ritorno anziché come mezzo per atterrare sulla Luna. In buona sostanza, i tre astronauti e il centro di Houston si trovarono ad affrontare una situazione completamente diversa da quella prevista e a dover inventare, in pochissimo tempo e con poche risorse, soluzioni a problemi che non avevano studiato. Personalmente ho avuto delle esperienze professionali nel campo del controllo di processo (la disciplina dei sistemi informatici che automatizzano il controllo e la gestione di impianti). Potete immaginare che la gestione di un lancio spaziale sia una sfida ai vertici di questa disciplina. Ero perciò molto interessato ai dettagli tecnici che emergevano dal film e non rimasi deluso. La storia era elettrizzante per sé ma ancora di più se si coglievano le sfumature tecniche che la sceneggiatura lasciava emergere con chiarezza. C'era una parola che ricorreva e che mi risuonava d'emozioni: *procedura*. Gli astronauti che dovevano rientrare e che avevano una quantità drammaticamente limitata di

ossigeno e di energia chiedevano la “procedura”. Non so quanti spettatori abbiano apprezzato questo dettaglio. Gli astronauti non chiedevano consigli e indicazioni, non volevano sentirsi dire “consumate meno energia che potete” o “muovetevi in modo da consumare meno ossigeno possibile”, no, non volevano consigli o raccomandazioni, volevano “la procedura”, ovvero la esatta e inequivocabile sequenza di azioni da compiere, una per una, nell’ordine preciso nel quale dovevano essere compiute, per essere certi di ottenere il risultato. Nel centro di Houston, per fornire quella procedura, con l’affidabilità che era richiesta, mandarono tre astronauti nel simulatore, gli diedero a disposizione un ambiente totalmente identico a quello in cui si trovavano gli astronauti nello spazio, la stessa quantità di energia, gli stessi oggetti materiali, lo stesso spazio, per riprodurre esattamente le condizioni della navicella che stava rientrando, e provarono e riprovarono varie sequenze di azioni finché non trovarono quella che completava la manovra necessaria con l’energia residua disponibile. Quella sequenza divenne “la procedura” che venne inviata alla navicella e che permise agli astronauti dell’Apollo 13 di rientrare.

Quando tutto questo avveniva, Karl Popper aveva 68 anni e viveva a Londra dal 1946. Il suo nome non viene associato a nulla di tecnologico bensì alla definizione dello spartiacque che distingue ciò che può essere considerato scientifico o e ciò che non lo è. Nato a Vienna nel 1902, aveva conseguito il dottorato in filosofia nel 1928 ma nel 1937, essendo di origine ebraiche, era stato costretto

a emigrare in Nuova Zelanda. Vivrà dall'altra parte del mondo fintanto che il nazismo non verrà spazzato via e rientrerà in Europa nel 1946, ma non in Austria bensì nel Regno Unito dove prende a insegnare alla London School of Economics. Londra diventerà la sua nuova patria e nel 1965 viene proclamato cavaliere con annesso titolo di Sir dalla regina Elisabetta II. Scomparso nel 1994 a 92 anni, fu autore di molti libri e prolifico pensatore ma il suo nome è soprattutto associato al “principio di falsificabilità” (Popper, 1934). Capire in cosa consista questo principio non è di immediata intuizione. Capiuta che ci siano idee difficili da capire. Capita che alcune persone pensino a lungo su un problema – e per “a lungo” intendo dire decenni – e che lo facciano a partire da idee che esistevano già prima, maturate nel corso di secoli. Popper cominciò a pensare ai temi di filosofia della scienza quando non aveva neanche vent'anni e già andava alle conferenze di Einstein e poi dedicò tutta la sua lunga vita a questa disciplina. È dunque ben possibile che alcune delle sue elaborazioni più mature possano risultare incomprensibili a un primo sguardo. In molti casi, non si può entrare dentro un ragionamento così a lungo elaborato e coglierne subito tutte le sfumature. Il principio di falsificabilità è uno di questi. L'idea è che “scienza” sia tutto ciò che si può dimostrare essere falso. Questa definizione, paradossale a un primo sguardo, ha avuto un successo universale ed è quella che oramai si è affermata come la più corretta. Una formulazione meno ermetica è che una teoria è scientifica solo se è in grado di suggerire

esperimenti e osservazioni che potrebbero dimostrarla falsa. Quando Popper mise a punto questo criterio, non pensava tanto a criticare le discipline scientifiche tradizionali come la fisica o la biologia quanto le correnti di pensiero come la psicoanalisi o il marxismo che pretendevano di essere considerate "scientifiche" sebbene non offrissero nessuna capacità predittiva affidabile. Era contro queste pseudoscienze e alla loro domanda di cittadinanza scientifica che Popper cercava di costruire una diga di irriceibilità. Il tempo ha ben dato ragione al filosofo austriaco e le ragioni per sorvegliare la improvvisazione di nuovi candidati, nuove discipline, sono più attuali che mai. Ci sono teorie che acquistano livelli di popolarità significativi anche se sono manifestamente delle gratuite sciocchezze. Con la definizione di Popper abbiamo uno strumento rigoroso per smascherarli. "Gli alieni sono fra noi e non ce ne rendiamo conto perché non sappiamo distinguergli" è una teoria formulabile ma non è scientifica perché nessuno la potrà smentire. Se gli alieni non si possono vedere, a cosa serve parlarne? Tutte le teorie vaghe o troppo generali per riuscire a fare previsioni verificabili non sono scienza. Un portato delle teorie scientifiche è il rilascio di procedure per tutte le situazioni nelle quali quelle teorie vengono utilizzate. La sequenza di rientro dell'Apollo riposava su un cocktail di leggi, dalla gravità alla conservazione dell'energia, dall'elettromagnetismo alla diffusione del calore, tutte verificate e riproducibili e a cui si poteva ancorare una sequenza di azioni il cui risultato finale era certo. Non è poco.

Oltre le teorie palesemente senza senso, ci sono casi “incerti”. Nel 2002, Stephen Wolfram pubblicò *A New Kind of Science*, un tomo di 1.200 pagine con 1.000 immagini in bianco e nero e mezzo milione di parole. La tesi principale era che fosse possibile generare strutture caotiche anche con sistemi regolati da leggi molto semplici. In sostanza, la complessità di cui facciamo continuamente esperienza nel mondo, non è necessariamente prodotta da sistemi regolati da leggi complesse. In particolare, nel testo di Wolfram si esploravano le conseguenze di 256 possibili regole per automi cellulari unidimensionali, tra cui la Regola 30, che genera una complessità illimitata. Il libro fu accolto con ostilità dalla comunità dei fisici. In parte perché Wolfram non era passato per il consueto processo di confronto preliminare con i colleghi nelle riviste scientifiche specializzate, quello che viene chiamato *peer review*, ed era andato direttamente alla pubblicazione. Ma un altro motivo era che i ricercatori non riuscivano a vedere come usare le sue idee per prevedere qualcosa di utile. Si trattava quindi di un testo scientifico quanto a metodo e merito ma il fatto che non avesse capacità predittive sulla realtà ne diminuiva molto lo status.

Scienza è dunque capacità predittiva. Eppure, il sottotitolo di questo capitolo ci mette in guardia. La stessa definizione popperiana ma soprattutto la serie dei dati storici accende una spia e ci dice che qualunque teoria scientifica, proprio per le caratteristiche di “falsificabilità”, si consegna a un destino inevitabile: essere smentita.

Abitavano in campagna dove possedevano una fattoria e di quello dovevano vivere. Per questo motivo, morti padre e patrigno, quando aveva 16 anni, la madre, Hannah Ayscough, lo costrinse a abbandonare gli studi e lo richiamò a casa per accudire i campi. Ma non funzionò. Il ragazzo aveva abbandonato meridiane, clessidre ad acqua e modelli di mulini che realizzava per diletto nel tempo libero ma non ci fu niente da fare, comunque si rivelò un pessimo agricoltore e già nel 1661 si trasferì definitivamente al Trinity College di Cambridge. Nato prematuro e cagionevole, con un'origine tutto sommato umile e con un corpo così debole da far disperare per la sua vita, Isaac Newton visse ottantacinque anni e si acquistò una fama come nessun altro uomo del suo tempo. Fu uno scienziato straordinario, forse il più grande di tutti i tempi, diede contributi negli ambiti più diversi, dalla fondazione del calcolo infinitesimale passando per i suoi lavori di ottica, ma ciò che lo rese una figura paradigmatica dello scienziato fu la sua legge di gravitazione universale. Attraverso di essa, fenomeni apparentemente distinti come l'occorrenza delle maree, il moto dei pianeti, le traiettorie dei gravi in caduta trovarono una cornice che li riconduceva tutti a una unica legge. La manifesta capacità di spiegazione e di previsione, dallo schiacciamento dei poli fino alla comparsa della cometa di Halley nel 1759, diedero alla gravitazione universale una popolarità immensa e ne fecero il fondamento della fisica classica cui poter ancorare con fiducia qualunque ulteriore sviluppo. Da allora in poi, la fisica, come la

scienza in generale, riteneva di avere davanti un futuro di conquiste e progressi che si sarebbero composti in un quadro sempre più dettagliato e affidabile a partire da alcuni punti fermi che ne costituivano la solida base per lo sviluppo. Ma come dicevamo prima «qualunque teoria fisica è sempre provvisoria, nel senso che è solo un'ipotesi: non può provarsi mai. Malgrado i risultati degli esperimenti concordino molte volte con la teoria, non potremo mai essere sicuri che la prossima volta il risultato non la contraddica. Viceversa, può respingersi una teoria non appena si trovi un'unica osservazione che contraddica le sue predizioni» (Hawking, 1988). E venne il momento in cui anche la gravitazione dovette fare i conti con l'affermazione di Stephen Hawking e avvenne l'inimmaginabile: il superamento della legge di gravitazione universale di Newton nella nuova e più generale formulazione della relatività generale di Einstein. Che le verità della scienza fossero «provvisorie» era cognizione generale degli addetti ai lavori ma lo sconvolgimento prodotto dalla relatività generale diede un valore particolare a questa constatazione, una scossa che minava alle basi una rappresentazione positivista del cammino della conoscenza. Come se non bastasse, lo sviluppo ulteriore della fisica, segnatamente la comparsa della meccanica quantistica, indicava definitivamente che qualsiasi modello della realtà si costruisca, viene poi smentito, dimostrandosi, per sua natura, parziale, inadeguato, «falso». La lezione è che la formulazione di qualunque nuova legge chiede di rimanere lontani da affermazioni perentorie, di circoscrivere

ogni affermazione ai dati disponibili, mostrandosi umili, nella consapevolezza che ogni ipotesi ha un destino inevitabile: essere smentita. Questo è ciò che indicano i dati storici. Perché questa ontologica provvisorietà? Innanzitutto, la evoluzione tecnologica consente di penetrare angoli di realtà prima indisponibili. Nuovi dati costringono a verificare e spesso a modificare modelli costruiti ai tempi in cui quei dati non esistevano. L'avvento della teoria eliocentrica non è stato solo il risultato di menti brillanti ma soprattutto delle misure effettuate con telescopi che non erano disponibili prima del XVII secolo.

In ogni caso, qualunque cosa sia la realtà, la nostra rappresentazione è sempre solo un modello che la riproduce in parte. Si tratta sempre di una mappa, mai del territorio. Stephen Hawking ha espresso questo punto di vista attraverso le seguenti parole:

Per poter parlare della natura dell'universo e discutere problemi come se ci sia stato un inizio o se ci sarà una fine, occorre avere ben chiaro che cosa sia una teoria scientifica. Io adotterò qui la concezione ingenua che una teoria sia solo un modello dell'universo [...]. Il modello esiste solo nella nostra mente e non ha alcun'altra realtà (qualsiasi cosa questa affermazione possa significare). Una teoria, per essere una buona teoria scientifica, deve soddisfare due richieste: descrivere con precisione una grande classe di osservazioni sulla base di un modello contenente solo qualche elemento arbitrario, e fare predizioni ben definite sui risultati di future osservazioni.

Lo stesso Popper scriveva: «Non dobbiamo considerare la scienza come un “corpo di conoscenza”, ma piuttosto come un sistema di ipotesi che in linea di principio non possono essere giustificate, ma con cui lavoriamo finché resistono alle prove, e di cui non siamo mai giustificati in dicendo che sappiamo che sono “veri” o “più o meno certi” o addirittura “probabili”» (Popper, 1934).

Si intravede dietro le righe delle considerazioni appena svolte, come la storia della scienza, nonostante sia una storia di successi, sia soprattutto un invito alla cautela, sempre. Ben incorporato nella ontologia della sua prassi, la scienza sa di poter sbagliare. L'importante è sbagliare da professionisti.

Una efficacia insostenibile

La scienza esiste perché funziona



SCRITTORE: Mia cara il mondo è infinitamente noioso, perciò, non possono esistere né la telepatia né i fantasmi né i dischi volanti, niente di tutto questo. Il mondo è regolato da leggi ferree che lo rendono insopportabilmente noioso e queste leggi, ahimè, non vengono violate, non si lasciano violare. Non speri nei dischi

volanti, sarebbe un fatto troppo interessante.

AMMIRATRICE: E il triangolo delle Bermude? non vorrà certo negare che esiste.

SCRITTORE: Certo, non esiste nessun triangolo delle Bermude. C'è solo il triangolo a-b-c che è uguale al triangolo a1-b1-c1. Non avverte quale triste noia è racchiusa in queste informazioni. Il Medioevo, quello sì che era interessante. In ogni casa c'era uno spirito, in ogni chiesa un

dio, gli uomini erano giovani, oggi un uomo su quattro è vecchio. Che noia mia cara, che immensa noia.

Le battute di sopra sono estratte dal film del 1979 *Stalker* di Andrej Tarkovskij. Lo stalker, protagonista del film è una guida, un accompagnatore esperto capace di scortarti e riportarti indietro per una esplorazione all'interno della cosiddetta “zona”. Cosa c'è di così interessante all'interno della “zona”? La sospensione delle regole, tutte, persino quella della fisica. Lì l'acqua può salire anziché scendere. Ecco quindi, finalmente, una regione dove ritorna l'imprevedibile, dove la vita torna a conoscere il brivido dell'ignoto assoluto, dove ogni meccanicismo è bandito, l'*hic et nunc* modella il corso degli eventi e l'individuo ritorna protagonista completo della propria esistenza perché sarà la sua personale interpretazione delle difficoltà a costituire la via di salvezza dalle difficoltà della zona.

Quella di Tarkovskij è stata l'ennesima versione della rappresentazione di un disagio che da secoli attraversa le società e che è una cifra della modernità: l'insofferenza verso la implacabile efficacia della scienza. Contro di essa si sono scagliati a più riprese i teorici di umanesimi vari, vati della poesia, balbuzienti delle discipline più esotiche, tutti interpreti della elaborazione di un lutto: la progressiva scomparsa del protagonismo dell'individuo.

Non si può più rivendicare una personale interpretazione del mondo perché l'unica legittima è quella scien-

tifica, le altre sono boutade estetiche. E chi o cosa legittima questa presunta superiorità della scienza? Chi o cosa stabilisce cosa sia vero e meno? La risposta è nelle parole di Davies (1992):

Nel corso dei secoli tutte le culture hanno celebrato la bellezza, la maestosità e l'ingegnosità dell'universo fisico. Solo la moderna cultura scientifica, tuttavia, ha compiuto un tentativo sistematico di studiare la natura dell'universo e il posto che noi occupiamo al suo interno. Il successo del metodo scientifico nel dischiudere i segreti della natura è così abbagliante da accecarci con il miracolo più grande di tutti: la scienza funziona.

La scienza funziona.

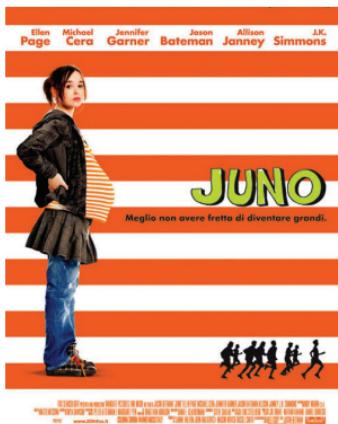
Per quanti disagi spirituali possa creare, per quante critiche si possano avanzare, per quanti errori abbia compiuto, alla fine prevale l'evidenza che la scienza funziona. Non fosse stato così, come tutte le cose che invece non funzionano, sarebbe stata rapidamente negletta e archiviata come la moda di un momento. Non è il mondo delle certezze assolute ma incorpora in sé la provvisorietà delle verità che essa stessa produce e ne fa il fondamento per la generazione di ulteriori provvisorie verità che spostano comunque in avanti la conoscenza, il tutto con una efficacia “abbagliante”.

Il resto, i vari malesseri che questa tirannia produce, è destinato a soccombere e a dover riconoscere con Musil (1912) che:

Ogni audacia spirituale poggia oggi sulle scienze esatte. Noi non impariamo da Goethe, Hebbel, Hölderlin, bensì da Mach, Lorentz, Einstein, Minkowski, da Couturat, Russell, Peano.

La cosa migliore che abbiamo

La scienza esiste perché è la cosa migliore che abbiamo per tentare di capire la vita



Guarda, a mio modo di vedere, la miglior cosa che puoi fare è trovare una persona che ti ami esattamente per quello che sei. Buon umore, cattivo umore, brutta, bella, affascinante, e così via, la persona giusta crederà che tu caghi rose dal sedere... quella è la persona con cui vale la pena stare.

Il passaggio di sopra è estratto dal film *Juno*, del 2007 diretto da Jason Reitman. La storia del film ruota intorno a una gravidanza non voluta di una teenager e alle difficili decisioni da prendere per affrontare il problema. La trama è articolata e si inoltra nelle modulazioni sempre imprevedibili delle relazioni umane. È il mondo dei sentimenti. Siamo cioè all'opposto dell'esperienza regolata da leggi scientifiche. Siamo in un contesto irriducibile a

un ambito di razionalità e la frase di sopra ne descrive la quintessenza: la mancanza di metodo con cui, per esempio, sovente scegliamo il nostro partner. Gli stessi tic e le stesse manie, che normalmente troviamo insopportabili nelle persone estranee, diventano i pregi a cui più ci affezioniamo nella persona amata. Quando c'è questa inversione, abbiamo il segnale che abbiamo incontrato «la persona con cui vale la pena di stare». Come si vede, non è una procedura, è una intuizione. Cosa può dire la scienza intorno a questi argomenti? L'abbiamo già detto: nulla.

Tutto ciò che ci sta intorno, la Terra e tutte le specie che la abitano e tutte le cose e tutto quanto vi si trova, viene ordinato innanzitutto in due categorie: il vivente e il non vivente. Gli esseri viventi respirano, mangiano, crescono, si muovono, si riproducono. Gli esseri non viventi non fanno nulla di tutto questo, esistono e basta. Le pietre sono non viventi mentre gli animali, le piante, i microorganismi lo sono.

Il mondo è sempre stato così? No. Il mondo non è comparso tutto insieme, non è sbocciato all'improvviso con tutto ciò che oggi vediamo. L'idea che ci siamo fatti, soprattutto a partire dal 1964 quando è stata scoperta la radiazione cosmica di fondo, è che ci sia stato un istante iniziale in cui non c'erano animali ma neanche piante e perciò neanche i botanici, non c'erano cellule di nessun tipo e perciò non c'erano biologi ma neanche le pietre e i geologi, non c'erano i pianeti e i chimici, non c'erano le stelle e fisici. All'inizio, ovvero in quell'istante primo oltre il quale non riusciamo ad andare a ritroso anche perché

oltre non c'era neanche il tempo, c'era il nulla o comunque lo vogliamo chiamare. Non c'era alcunché di ciò che oggi chiamiamo realtà, neanche le particelle elementari e le forze. Da lì parte l'epoca di Planck. Il termine "epoca" evoca secoli se non millenni ma accoppiato a Planck indica tempi dell'ordine di 10^{-44} s e spazi dell'ordine 10^{-35} m. La temperatura, superiore a 10^{32} K, era tale che non ci sia fisica a noi nota che possa descrivere quale fosse lo stato del sistema. Finalmente, nell'arco del primo pico secondo, 10^{-12} s, la temperatura scende a 10^{15} K (o 150 Gev, le energie cui è capace di arrivare il Large Hadron Collider del Cern), particelle e forze si inverano e i fisici trovano lavoro. Tutti gli altri no. Da quel momento in poi, ci vorranno 18.000 anni perché l'universo si raffreddi a sufficienza e abbia inizio l'epoca della ricombinazione quando gli elettroni si combinano con i nuclei di elio per formare He+. Accade che via via che l'universo si raffredda, trova modo di differenziarsi, di articolarsi e costituire strutture sempre più complesse. Una ricostruzione di questo tipo della evoluzione temporale è anche una sorta di ascensione lungo una successione di strati di realtà che emergono uno dopo l'altro da quello precedente. A volte abbiamo delle transizioni di fasi e un nuovo stato del sistema si sostituisce a quello precedente. Altre volte, "emerge" un nuovo strato che non sostituisce ciò che c'era prima ma si aggiunge. Strato su strato. A 47.000 anni, l'universo si è raffreddato ulteriormente e il suo comportamento è dominato dalla materia piuttosto che dalle radiazioni. A circa 100.000 anni, dopo la formazione degli atomi di elio neutri, nasce

la prima molecola di idruro di elio. Finalmente anche i chimici vengono chiamati a lavorare.

E i biologi? Loro no, loro dovranno aspettare ancora molto tempo prima di entrare in campo. Non si sa in quale punto dell'universo siano stati chiamati per primi. Dove si è manifestata la vita per la prima volta nell'universo? Non lo sappiamo. Abbiamo scoperto di recente quale sia la dimensione dell'universo, qualcosa con un diametro di 92 miliardi di anni luce (Siegel, 2017) e non è facile avere notizie di cosa sia accaduto lì in giro dalle altre parti. Abbiamo imparato a riconoscere le varie galassie, abbiamo scoperto i buchi neri e diverse altre formazioni astrofisiche ma quanto alla vita, non sappiamo se, dove e in quali forme si sia manifestata. Tranne quella del nostro pianeta. La Terra si è formata all'incirca 4,5 miliardi di anni fa e si ritiene che intorno ai 3,8 miliardi di anni fa si siano costituite i primi organismi biologici. Come questo sia potuto accadere, ovvero come sia stato possibile che mettendo insieme carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto e il fosforo in una sorta di zuppa primordiale, si siano potuti formare aminoacidi, DNA e il resto degli elementi costitutivi della vita, rimane un mistero. Come poi questi elementi si siano aggregati per dare vita a un organismo, rimane un mistero ancora più grande. A differenza di ciò che accade con la fisica, dove molti degli eventi che hanno segnato l'evoluzione dell'universo vengono riprodotti nei laboratori, la magia della creazione di tessuto biologico a partire da elementi non biologici rimane a tutt'oggi irriproducibile.

In ogni caso, la freccia del tempo indica una evoluzione da elementi “semplici” verso aggregati sempre più complessi. La scienza ha lavorato principalmente con gli elementi semplici, con gli strati bassi del mondo naturale, con il non vivente, e oggi siamo abbastanza fiduciosi di avere grosso modo costruito un quadro completo di come stiano le cose in quell’ambito.

La materia ordinaria di cui siamo fatti io e te, così come la Terra e tutto ciò che vedi intorno a te, coinvolge solo tre particelle di materia (elettroni, quark up, quark down) e tre forze (gravità, elettromagnetismo, nucleare forte e debole) [...]. Le leggi della fisica alla base della vita quotidiana sono completamente note... Con questo non sosteniamo che tutte le leggi della fisica sono note, ma solo che un insieme ristretto è sufficiente a descrivere cosa accade al livello della vita di tutti i giorni. (Carroll, 2016)

Una organizzazione a strati del mondo, o meglio, dell’organizzazione del nostro sapere sul mondo, venne esplicitamente teorizzata da Auguste Comte nel XIX secolo. Si deve a lui l’immagine della gerarchia delle scienze come una piramide dove alla base si sarebbe trovata la fisica, sopra la chimica, quindi la biologia e poi di seguito le neuroscienze, la psicologia e infine le scienze sociali. In queste ultime discipline si tentava di trasferire il metodo di lavoro che stava inebriando di successi l’età post newtoniana del suo tempo. Comte stesso creò una nuova disciplina, la *fisica sociale* che poi divenne la sociologia,

con l'obiettivo di estendere il metodo scientifico anche alle scienze sociali.

Si tratta di un tentativo che non si è mai fermato ma che incontra difficoltà crescenti via via che si sale dagli strati più bassi a quelli più alti. Perché? Intanto, tutti i fenomeni legati alla vita appaiono realtà “emergente”, ovvero fenomeni che hanno le loro radici sugli strati bassi delle leggi della fisica e della chimica ma poi emergono come una realtà indipendente regolata da leggi completamente diverse. Al confronto, come dice sempre Carroll, la fisica è più semplice. Semplice!? La fisica? Sì, perché in questa disciplina, quando si studia un problema complesso, ovvero dove entrano in gioco diverse variabili, questo si può “spacchettare”. Dei tanti parametri che giocano, si isolano quelli più importanti e si fa la legge. Poi si aggiungono gli effetti di quelli minori. È quello che si è fatto nello studio dei gravi: si sono messi da parte gli attriti e si è aperta la strada per la scoperta della gravità. Perché non si procede così in tutte le discipline? Perché non sempre è possibile. Perché non sempre si possono separare e/o trascurare variabili. In certi sistemi, anche contributi apparentemente irrilevanti possono avere effetti importanti. In alcuni casi, costruire un modello risulta complicato o addirittura impossibile perché il sistema può avere una intrinseca caoticità che lo rende intrattabile, irriducibile alla schematizzazione e quindi alla fine impredicibile negli stati futuri. Insomma, molti dei prerequisiti (riproducibilità, predicitività, ...) che definiscono scientifica una disciplina, vengono meno.

E poi c'è la matematica. Un elemento essenziale del metodo scientifico è la rappresentazione matematica dei problemi. La computabilità cui siamo abituati ci ha garantito un grande successo in tutta una certa classe di fenomeni ma questa computabilità non sembra rintracciabile in altri. Su questo versante, qualche volta si affaccia il dubbio che la matematica della fisica non sia idonea in altri contesti, per esempio nel caso dei sistemi biologici. È possibile. La domanda è: lì dove la modellizzazione non funziona è perché i fenomeni sono intrinsecamente più complicati o il limite è nella matematica che stiamo utilizzando? «Potremmo chiederci che cos'abbia impedito per tanto tempo di pervenire a una generalizzazione delle leggi della natura... c'era anche un problema di tecnica matematica» (Prigogine, 1997). La nostra matematica è in corrispondenza biunivoca solo con una certa classe di fenomeni ma ne lascia fuori altri? Si possono usare due matematiche separatamente? Ogni livello emergente di realtà ha la sua matematica? O esistono livelli di realtà non computabili, non simulabili da una macchina di Turing? Ovvero, può darsi anche che non ci sia niente da fare per motivi intrinseci, che la comprimibilità algoritmica che si trova negli strati bassi non ci sia negli strati alti e non esiste simulazione dell'universo che non sia l'universo stesso. Può darsi.

La ciliegina sulla torta della complessità del mondo biologico è infine costituita da un ulteriore strato di realtà emergente, il fenomeno “coscienza”. Associare la parola coscienza alla parola scienza, a dispetto della differenza

di soli due caratteri, appare veramente azzardato. Dove rintracciare replicabilità e verificabilità? Cosa misurare? Una tensione o una densità? Un volume o una velocità? Cosa si misura quando si studia la coscienza? Come si fa scienza nell'ambito dell'immateriale per eccellenza. Eppure, la mente è innanzitutto hardware e negli ultimi anni si sono accesi importanti filoni di ricerca anche su questo tema. Due sono gli elementi che la sostengono: le neuroscienze e l'intelligenza artificiale.

Le neuroscienze hanno mostrato una complessità nella organizzazione del sistema nervoso che è venuta crescendo lungo la linea dell'evoluzione e che trova testimonianza nella differenziata organizzazione del cervello delle varie specie animali.

Gli organismi hanno evoluto reti di comunicazione e di decisione che chiamiamo sistemi nervosi, in grado di coordinare le parti sempre più complesse del loro corpo, nonché i comportamenti che ne facilitavano la sopravvivenza. I neuroni che costituiscono i sistemi nervosi si sono aggregati in cervelli capaci di esibire comportamenti sempre più intelligenti. In questo modo, la biologia ha fatto nascere la neurologia, e i cervelli a quel punto erano la punta avanzata della conservazione e manipolazione di informazione. Così siamo passati dagli atomi alle molecole, al DNA, ai cervelli. Il passo successivo è stato esclusivo della specie umana.

Il cervello dei mammiferi ha una capacità che non si trova in alcuna altra classe di animali: abbiamo la capacità

di un pensiero gerarchico, di comprendere una struttura composta da elementi differenti organizzati in uno schema, di rappresentare quella disposizione con un simbolo e poi di usare quel simbolo come un elemento in una configurazione ancora più elaborata. Questo grazie a una struttura cerebrale che chiamiamo neocorteccia, che negli esseri umani ha raggiunto una soglia di sofisticazione e di capacità tale che possiamo chiamare idee queste forme. (Kurzweil, 2013)

Comunque la si metta, esce fuori che anche il cervello, seppur sede dell'immateriale per eccellenza, non è altro che il risultato della evoluzione di puro hardware biologico. E se di hardware si tratta, ecco che di nuovo la scienza ritrova la sua ragion d'essere. E infatti sempre Kurzweil scrive «il punto più avanzato del progetto di comprensione, modellazione e simulazione del cervello umano è la retroingegnerizzazione della neocorteccia, in cui si forma il nostro pensiero gerarchico ricorsivo».

In questa cornice, per certi versi sconvolgente, si inseriscono poi domande antiche, a cominciare dalla contrapposizione tra il determinismo delle leggi della fisica e l'occorrenza della coscienza di cui la manifestazione della libera volontà è la automatica espressione. La fisica ci consegna un universo regolato da leggi precise che, a partire da certe condizioni iniziali, determinano una traiettoria del sistema, l'universo, che può essere una e una sola. Se le cose stanno così, e le cose formalmente stanno così, io non ho mai deciso di scrivere questo libro, voi non avete mai deci-

so di leggerlo ma tutto era già determinato *ab initio*. Date le condizioni iniziali dell'universo e le leggi della fisica che lo regolano, tutto ciò che sta accadendo in questo momento ovunque nel mondo era già scritto. Questo punto di vista si porta appresso una notizia buona e una cattiva. Quella buona, l'abbiamo già raccontata, è che per fortuna il mondo ha un comportamento prevedibile. Se a partire da medesime condizioni iniziali, si potessero avere esiti diversi, se lanciando un missile avessi che il vettore va una volta va a destra e una volta va a sinistra, sarebbe una vita difficile. La razionalità è un sinonimo di determinismo che a sua volta è un sinonimo di comprimibilità algoritmica. Un mondo razionale, algoritmicamente comprimibile è un mondo deterministic.

D'altra parte, proprio questo determinismo sembra escludere la possibilità della libera volontà, quella espressione della vita che fa la cifra della individualità di ciascuno di noi. Come si concilia il determinismo con la nostra consapevolezza, la nostra coscienza, la nostra intensa e profonda sensazione di compiere delle scelte nella nostra vita?

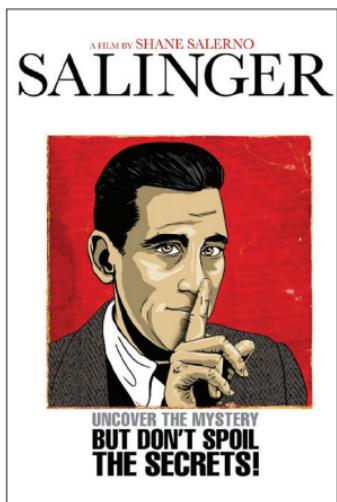
Qui siamo di fronte a uno di quei bivi dove non scegliamo sulla base dei dati (almeno finché non li abbiamo) bensì su criteri di sensatezza. Una visione rigidamente deterministica è inaccettabile. Non diciamo che sia falsa ma solo che non la possiamo accettare. Può darsi che sia la verità, che la realtà sia un carillon che suona una musica già scritta, può darsi che il nostro scegliere sia solo una illusione. Se è così, allora qualunque cosa crediamo

va bene. Non siamo noi a decidere, è già tutto deciso. Una visione del genere sarà anche vera ma a noi non interessa. Immaginare una esistenza da marionette ci priva dell'essenza stessa della vita. Che senso ha un gioco nel quale le mie mosse sono obbligate? Perché la nostra esistenza abbia un senso deve esserci spazio per costruire la nostra vita. Se giochiamo al gioco della scienza, della ricerca continua di come vada il mondo, non possiamo che assumere che la realtà sia regolata deterministicamente dalle leggi della fisica ma in un modo in cui questo determinismo si scolora lungo la strada che fa emergere la vita, e soprattutto la coscienza, e ci rende protagonisti della nostra presenza nella scena dell'universo. L'alternativa a questa visione è teorizzare che non esistiamo, siamo solo hardware preprogrammati. Il gioco perde di senso e invece noi siamo qui per giocare.

In buona sostanza, nel confronto con le scienze della vita, il metodo scientifico, così come concepito nell'ambito delle scienze fisiche, mostra difficoltà ma rimane lo strumento di lavoro per eccellenza. Per un motivo semplice: non c'è nulla di meglio. Almeno per adesso. Il metodo scientifico, così come l'abbiamo descritto, è lo strumento migliore che possiamo mettere in campo per capire il mondo intorno a noi anche nell'ambito delle indagini sulla vita. Peraltro, la fecondità di risultati che ne è venuta, seppure lasci aperti interrogativi grandi, non è seconda a quella ottenuta dalle scienze fisiche.

Come fate a sapere quello che farete,
finché non lo fate?

Conclusioni



Un sacco di gente, soprattutto questo psicanalista che c'è qui, continuano a domandarmi se quando tornerò a scuola a settembre mi metterò a studiare. È una domanda così stupida, secondo me. Voglio dire, come fate a sapere quello che farete, finché non lo fate? La risposta è che non lo sapeste. Credo di sì, ma come faccio a saperlo? Giuro che è una domanda stupida.

La battuta di sopra non proviene da un film realizzato sul romanzo *Il giovane Holden* di Salinger bensì dal testo stesso. Non potrebbe essere estratta da una sceneggiatura perché Salinger non ha mai accettato di vendere i diritti cinematografici del suo capolavoro. Quello che perciò poteva fare un regista come Salerno, era di realizzare un

film sul creatore di Holden ma non sul personaggio stesso. Ai nostri scopi fa lo stesso, quello che ci premeva riprendere è la frase «come fate a sapere quello che farete, finché non lo fate? La risposta è che non lo sapete». È proprio così, non si sa mai cosa accadrà, finché non accade. Lo stesso vale quando si scrive un libro. Rispetterà le attese del progetto che lo aveva originato? Fino alla fine non si sa.

Se poi si parla di filosofia della scienza, si aggiunge qualche dubbio impertinente, del tipo: c'è una qualche prova che di qualunque cosa si sia scritto in questa disciplina, questa abbia mai influenzato il corso della ricerca in un qualunque risultato? Quando Popper ha finalmente formalizzato la linea di demarcazione tra scienza e non scienza, chicchessia in qualunque laboratorio ha chiamato a raccolta i ricercatori per spiegare come sarebbe cambiata la pratica del lavoro? Quando Kuhn ha finalmente argomentato che l'evoluzione della scienza non è il risultato di continue accresioni ma soprattutto il risultato di improvvisi rivoluzionari cambiamenti nei paradigmi concettuali, risulta che qualche dirigente di ricerca abbia chiamato a una revisione dei programmi per dare più spazio alle rivoluzioni concettuali? No, non è accaduto nulla di tutto questo. Il lavoro degli addetti di tutto il mondo ha continuato come se le pubblicazioni di Popper, di Kuhn e di tutti i filosofi della scienza non fossero mai comparsi. Non c'è Popper o Kuhn che abbia minimamente influenzato l'agenda delle cose da fare di qualunque laboratorio di ricerca del mondo.

Eppure, a dispetto di queste considerazioni, reiteriamo ancora una volta l'opinione che valga la pena di sostare a riflettere su questa cosa chiamata scienza. E la nostra pretesa è che ci sia valore aggiunto anche in tutto ciò che ci siamo raccontati e che proviamo a riassumere in poche righe.

Innanzitutto, abbiamo ricordato alcune assunzioni implicite che accompagnano secoli di indagine scientifica. In particolare, che esiste qualcosa là fuori altro da noi, qualcosa con cui riusciamo a interagire anche se in un modo che spesso inganna. Questa realtà cambia continuamente al punto da dare l'impressione che sia una gran confusione ma a guardar bene (con gli attrezzi della inferenza induttiva e deduttiva) si scopre che ci sono delle regolarità, delle leggi, scoperte le quali riusciamo a tenere la situazione abbastanza sotto controllo. In questa battaglia continua per capire il mondo (ed evitare le sorprese più sgradite) mettiamo insieme le nostre forze e le nostre idee, ci confrontiamo su come vediamo le cose, ci raccontiamo il mondo attraverso il linguaggio (secondo la corrispondenza biunivoca intuita da Wittgenstein). Quando poi vogliamo fare le cose a regola d'arte, utilizziamo il linguaggio della matematica che sembra fatto apposta per descrivere con precisione le leggi naturali. In tutti questi secoli abbiamo fatto esperienza e scoperto che molte volte siamo dovuti ritornare indietro su convinzioni che sembravano incrollabili e questo ci ha fatto capire che di qualunque cosa ci convinciamo, è bene tenersi pronti a cambiare idea. Mettiamo perciò da parte ogni pretesa

di conoscenza definitiva e con tanto understatement e pragmatismo mettiamo in comune le nostre conoscenze e vediamo cosa funziona meglio. Con questa strategia, non è andata male. Dal punto di vista della disponibilità di beni materiali, una gran parte del pianeta se la passa molto meglio di quanto accadesse appena un secolo fa. Non sappiamo misurare la felicità (anche perché è difficile definirla, figurarsi a misurarla) e perciò non sappiamo dire se stiamo meglio anche da quel punto di vista, di certo siamo spettacularmente più liberi dalle antiche schiavitù dell'indigenza.

Il punto è che le scienze naturali raccontano un pezzo importante di ciò che ci riguarda ma non tutto. C'è una area immateriale, fatta di emozioni e sentimenti, che pure da sempre ha reclamato d'essere essenziale tanto quanto le cose materiali. Non è pertinenza della scienza. E allora perché parlarne? Per anticipare l'obiezione di quelli che rimproverano alla scienza di non sapere dare risposte a domande fondamentali per la vita di ciascuno di noi. Ebbene, è vero. Emozioni e sentimenti sono ambiti dove la soggettività la fa da padrona e perciò rimangono fuori dal ragionamento scientifico. La scienza segue una sua agenda e un cammino che si mantengono rigorosamente paralleli a quello della ricerca "spirituale". Va da sé che alcune delle scoperte scientifiche hanno disegnato per l'uomo una nicchia nell'universo dello spazio e nel tempo apparentemente così residuale da riversare anche sul piano della consapevolezza, come comunità e come individui, conseguenze profonde. Ma questo

è avvenuto, e avverrà ancora (c'è da scommetterci), non per esplicito disegno della indagine scientifica ma come effetto collaterale non previsto. Copernico ha creato la teoria eliocentrica per spiegare la traiettoria dei pianeti non per scalzare la centralità dell'uomo nell'universo. La misura della radiazione di fondo non tendeva a screditare le varie versioni esistenti sull'origine dell'universo, ma era solo il tentativo di eliminare il rumore di fondo che si trovava negli apparati diagnostici. Che poi questo abbia implicato la conferma della teoria del Big Bang è stato un puro effetto collaterale.

In generale noi riteniamo che la progressiva diffusione della cultura scientifica abbia prodotto qualcosa che va oltre la prosperità ed entra nell'ambito dei valori. La parabola della scienza si regge su una prassi metodologica che suggerisce un vero e proprio abito esistenziale cui poterci ispirare.

È vero, l'implacabile efficacia della scienza può aver generato un senso di espropriazione del protagonismo dell'uomo ma si tratta di una lettura superficiale. La modernità intesa come lo spaesamento generato dalla dissoluzione di valori assoluti non è un prezzo inevitabile, esiste un'altra lettura di ciò che è avvenuto e sta avvenendo. Mentre prima eravamo protagonisti di un disegno superiore che ci assegnava il posto centrale nel teatro della realtà, ora non abbiamo più garanzie, siamo e saremo lì dove saremo capaci di arrivare. Sì, non c'è nulla di scritto, ma ora sì che siamo davvero protagonisti. Ogni giorno di ogni vita può diventare un pezzo di questo percorso.

Si fa scienza insieme, con l'eredità di quelli che sono venuti prima e nel confronto continuo con quelli che ci sono a fianco, in ogni caso mai da soli. Anche quei casi di contributi importanti che sono venuti da straordinarie intelligenze (uno per tutti, abbiamo ricordato il caso Newton), hanno trovato senso lungo la linea del lavoro svolto prima da altri, reso pubblico per un confronto aperto e consegnato alle generazioni future per diventare patrimonio collettivo duraturo. E qui si aggiunge l'ulteriore elemento cui abbiamo già fatto cenno: proprio per fare comunità nello spazio e nel tempo, proprio perché è indispensabile comunicare e condividere, scienza è, per eccellenza, logos. È la parola che apre il confronto sulle visioni del mondo e attraverso la quale costruiamo il racconto dell'universo che abitiamo. Ecco, dunque, che assumere la prassi scientifica come abito mentale ci restituisce una visione della vita come cammino comune, fatto di tappe ogni volta sorprendenti ma che, c'è da esserne certi, sono solo tappe, mai punti di arrivo, lungo un percorso che non è già tracciato ma va disegnato mentre lo si percorre e che perciò è ontologicamente fatto di errori. Ma non è questo che ci spaventa, lo facciamo insieme.

Ma soprattutto, il metodo scientifico è innanzitutto prassi di umiltà, affermazione di verità consapevolmente parziali che vengono proposte con voce composta, quasi sottovoce. L'abbiamo detto, scienza è ambizione di capire ma con la consapevolezza dei propri limiti.

Essa ci consegna dunque una etica il cui valore non è sufficientemente riconosciuto e che getta le fondamenta

di un rinnovato umanesimo basato su tre pilastri: logos, comunità e umiltà. Nessuno di questi elementi può fare a meno degli altri. D'altra parte, la fotografia del mondo contemporaneo vede un pianeta nel pieno di una trasformazione digitale che fa esplodere le possibilità di produrre parole (che non fanno automaticamente logos) e creare connessioni (che non creano automaticamente comunità), e perciò se un deficit può nascere nel bilancio dei nostri tre pilastri, è sul lato del valore principe e della più feconda ispirazione esistenziale: l'umiltà.

Appendice

Supponiamo di avere un test per una malattia rara che colpisce l'1% della popolazione. Il test ha un'accuratezza del 95%, il che significa che restituisce un risultato positivo nel 95% dei casi in cui una persona è effettivamente malata, mentre restituisce un risultato negativo nel 95% dei casi in cui una persona è sana.

Ora, supponiamo che tu abbia fatto il test e che sia risultato positivo. Qual è la probabilità che tu sia effettivamente malato?

Per risolvere questo problema, possiamo utilizzare il teorema di Bayes.

Definiamo gli eventi come segue:

A: Sei malato (probabilità = 0,01)

B: Risultato positivo del test (probabilità = 0,95)

La domanda che vogliamo risolvere è $P(A|B)$, ovvero la probabilità di essere malati dato un risultato positivo del test. Il teorema di Bayes afferma:

$$P(A|B) = (P(B|A) * P(A)) / P(B)$$

Dove:

$P(B|A)$ = Probabilità del risultato positivo dato che sei malato (0,95)

$P(A)$ = Probabilità di essere malato (0,01)

$P(B)$ = Probabilità del risultato positivo (0,01 * 0,95 + 0,99 * 0,05,

La espressione di $P(B)$ racconta che ci sono 2 strade per risultare positivi, una è che si sia malati (0,01) e infatti il test risulta positivo (0,95), l'altra è che non si sia malati (0,99) ma il test è comunque risultato positivo (0,05). La somma delle due probabilità dà la probabilità complessiva.

Risolvendo l'equazione:

$$P(A|B) = (0,95 * 0,01) / (0,01 * 0,95 + 0,99 * 0,05) \approx 0,161$$

Quindi, nonostante il risultato positivo del test, la probabilità che tu sia effettivamente malato è di circa 0,161 o 16,1%.

Questo esempio illustra come il teorema di Bayes ci permetta di aggiornare le nostre probabilità in base alle nuove evidenze (risultato del test) e alle probabilità iniziali (probabilità di essere malati).

Bibliografia

- Adhikari A., DeNero J., Wagner D. (2021), *Introduction of Computational and Inferential Thinking: The Foundations of Data Science*, Creative Commons.
- Bloch S.C. (1997), *Introduction to Classical and Quantum Harmonic Oscillators*, John Wiley & Sons, New York, p. 653.
- Carroll S. (2016), *The Big Picture. On the Origins of Life, Meaning, and the Universe Itself*, Penguin Random House, New York.
- Cassirer E. (1920), *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Verlag, Berlin (trad. it. *Storia della filosofia moderna* a cura di Angelo Pasquinelli, Il Saggiatore, Milano 1968, 4 voll., pp. 17-18).
- Chalmers A.F. (1976), *What Is This Thing Called Science?*, Queensland University Press and Open University Press, s.l. (trad. it. *Cos'è questa scienza? La natura e i suoi metodi*, a cura di A. Runfola, A. Mondadori, Milano 1979).
- Charms D. (1990), *Casi*, trad. it. a cura di Rosanna Giaquinta, Adelphi, Milano.
- Cobb M. (2020), *The Idea of the Brain: The Past and Future of Neuroscience*, Basic Books, New York.

- Cohen J., Pratchett T. & Stewart I. (2003), *The Science of Discworld II – The Globe*, Random House, s.l., p. 248.
- Davies P. (1992), *The Mind of God*, Simon & Schuster, New York (trad. it. *La mente di Dio*, Mondadori, Milano 1996).
- Einstein A. (1944), *Lettera a Robert Thornton*, trad. it. in F. Laudisa, *Albert Einstein e l'immagine scientifica del mondo*, Carocci, Roma 2015, p. 17.
- Feynman R. (1998), *The Meaning of It All. Thoughts of a Citizen Scientist*, Addison-Wesley, Perseus Books, Reading, Massachusetts, U.S.A (trad. it. *Il senso delle cose*, a cura di L. Servidei, Adelphi, Milano 2012).
- Gleick J. (2011), *The Information: A History, a Theory, a Flood*, Pantheon Books, New York (trad. it. *L'informazione. Una storia. Una teoria. Un diluvio*, a cura di V. B. Sala, Feltrinelli, Milano 2015).
- Hardy G.H. (1940), *A Mathematician's Apology*, Cambridge University Press, Cambridge (trad. it. *Apologia di un matematico*, a cura di L. Saraval, Garzanti, Milano 2002).
- Hawking S. (1988), *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, Bantam books, Toronto (trad. it. *Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo*, a cura di L. Sosio, Rizzoli, Milano 2015).
- Kurzweil R. (2013), *Come creare una mente. I segreti del pensiero umano*, Apogeo, Milano.
- Ladyman J. (2001), *Understanding Philosophy of Science*, Routledge, London and New York (trad. it *Filosofia della scienza: un'introduzione*, a cura di Tommaso Piazza, Carocci, Roma 2007).

- Land M.F. (2014), *Do We Have an Internal Model of the Outside World?*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences», Volume 369, Issue 1636.
- Odifreddi P. (2003), *Il diavolo in cattedra*, Einaudi, Torino.
- Popper K. (1934), *Logik der Forschung* (trad. it. *Logica della scoperta scientifica*, a cura di M. Trinchero, Piccola Biblioteca Einaudi, Torino 2010).
- Prigogine I. (1997), *The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature*, The Free Press, New York (trad. it. *La fine delle certezze. Il tempo, il caos e le leggi della natura*, a cura di L. Sosio, Bollati Boringhieri, Torino 2014).
- Shannon C. (1948), *A Mathematical Theory of Communication*, in «The Bell System Technical Journal», IEEE society.
- Siegel E. (2017), *How Big Was the Universe at the Moment of Its Creation*, in «Forbes» [Online], <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2017/03/24/how-big-was-the-universe-at-the-moment-of-its-creation/?sh=6ccc71ad4cea>.
- Singer P. (2016), *Ethics in the Real World: 86 Brief Essays on Things that Matter*, The Text Publishing company, Melbourne.
- Solomonoff R.J. (1964), *A Formal Theory of Inductive Inference*, in «Inf. Control», Vol. 7, part I-II.
- Tegmark M. (2014), *Our Mathematical Universe. My Quest for the Ultimate Nature of Reality*, Knopf, New York (trad. it. *L'Universo Matematico*, a cura di A. Migliori, Bollati Boringhieri, Torino 2014, 2021).
- Tegmark M. (2017), *Life 3.0* (trad. it. *Vita 3.0*, a cura di V.B. Sala, Raffaello Cortina Editore, Milano 2017).

Trinchero M. (1988), *Introduzione*, in Ludwig Wittgenstein, *Osservazioni sopra i fondamenti della matematica*, Einaudi, Torino (edizione ampliata).

Williams Jr J.H. (1996), *Fundamentals of Applied Dynamics*, John Wiley & Sons, New York.

Wittgenstein L. (1921), *Logisch-philosophische Abhandlung*, s.l (trad. it. *Tractatus logico-philosophicus e Quaderni 1914-1916*, a cura di A.G. Conte, Einaudi, Torino 2009).

Wittgenstein L. (1969), *Über Gewißheit*, Suhrkamp, Francoforte sul Meno (trad. it. *Della certezza*, a cura di M. Trinchero, Einaudi, Torino 1999).

Filmografia

Guida galattica per gli autostoppisti, 2005, Garth Jennings.

The Matrix, 1999, Lilly e Lana Wachowski.

La teoria del tutto, 2014, James Marsh.

Z la formica, 1998, Eric Darnell e Tim Johnson.

Paint Drying, 2016, Cherlie Lyne.

Kharns, 2017, Ivan Bolotnikov.

Rashomon, 1950, Kurosawa.

Margin Call, 2011, J.C. Chandor.

Apollo 13, 1995, Ron Howard.

Stalker, 1979, Andrej Tarkovskij.

Juno, 2007, Jason Reitman.

Salinger, 2013, Shane Salerno.

Settembre, 1987, Woody Allen

Filosofia

dello stesso argomento

Fabio Leuzzi, *Ars intelligendi. Un'indagine sull'intelligenza e sul pensiero dalla prospettiva di Hofstadter*, 978-88-31352-42-0
(ISBN edizione digitale 978-88-31352-43-7)

Brunella Antomarini, Francesco Lutrario, Daniela Movileanu,
Gioco e filosofia, 978-88-9295-124-2 (ISBN edizione digitale
978-88-9295-409-0)

Nicolò Fazioni, *Soggetti connettivi. Esercizi di semiotica e teoria della comunicazione*, 978-88-9295-235-5 (ISBN edizione digitale
978-88-9295-236-2)



Al cinema con Popper. Guida cinematografica alla filosofia della scienza
di Giuliano Buceti

direttore editoriale: Mario Scagnetti
editor e redazione: Giulia Ferri
caporedattore: Giuliano Ferrara
progetto grafico: Sara Pilloni

