

DAL PRINCIPIO OLOGRAFICO ALL'IPOTESI DELLA SIMULAZIONE. METAMORFOSI DI UN'IDEA AI CONFINI DEL PENSIERO SCIENTIFICO

Roberto Paura

Università degli Studi di Perugia
r.paura@libero.it
Orbis Idearum, Vol. 5, Issue 2 (2017), pp. 25-52.

ABSTRACT

In recent years, the so-called *simulation argument* – the idea that the reality we perceive could be a computer-generated simulation – has gained great popularity, no matter how implausible it may appear. This paper argues that its success, both in popular culture and in some areas of theoretical physics, depends on the consolidation of two ideas that emerged in the second half of the 20th century: the so-called “holographic principle”, born in the context of quantum mechanics and applied on a cosmological scale, which suggests the existence of a more fundamental plan of reality than the one we experience, so as to obtain a complete theory of quantum gravity; and information physics, which is rewriting the main paradigms of theoretical physics in light of the principles of information theory. The paper shows that these two concepts have undergone a continuous metamorphosis during the process of production-reception through mass culture, particularly in the American New Age culture. In accepting D. Kaiser’s programmatic thesis (2012; 2016) on the importance of reconstructing the genealogy of scientific ideas considering their reception in mass culture, the paper suggests that the simulation argument could be the result of a penetration into the collective imagination of the two ideas discussed here.

INTRODUZIONE

Per comprendere lo sviluppo e l’evoluzione di un’idea scientifica è necessario tenere conto non solo dei processi intellettuali all’interno delle singole comunità scientifiche, ma anche delle loro rappresentazioni nell’ambito della più ampia cultura di massa; in tal senso le idee scientifiche sono il prodotto di un continuo ciclo di produzione-ricezione, dove la ricezione di un’idea al di fuori del suo ambito naturale di sviluppo (per esempio attraverso gli strumenti della divulgazione scientifica) non produce un’acquisizione neutra, ma comporta

un'inevitabile trasformazione di senso¹.

Tuttavia, la storia della scienza si limita quasi sempre a ricostruire esclusivamente il percorso intellettuale che porta uno scienziato o un gruppo di ricerca a sviluppare una teoria o effettuare una scoperta, ignorando completamente l'influenza della società e del contesto storico. Un'importante eccezione è costituita dal recente studio di David Kaiser *Come gli hippie hanno salvato la fisica* (2011), nel quale il fisico e storico della scienza ha messo in luce i rapporti reciproci tra lo sviluppo di alcune idee della fisica contemporanea, in particolare della meccanica quantistica, e l'ambiente della controcultura New Age negli anni Settanta, in particolare l'influenza di un gruppo informale di studenti, docenti e appassionati di fisica dell'Università di Berkeley, il "Fundamental Fysiks Group", nel promuovere alcune idee poi divenute mainstream nella meccanica quantistica, come il principio di non-località e il teletrasporto quantistico. Lo spunto di Kaiser si è dimostrato molto fecondo, come dimostra la più recente pubblicazione di un volume collettaneo intitolato *Groovy Science* (2016) nel quale diversi studiosi hanno dimostrato il ruolo del *milieu* controculturale degli anni Sessanta e Settanta nello sviluppo di idee scientifiche oggi consolidate, come quelle alla base della rivoluzione informatica.

Più che all'alveo della storia della scienza, questo inedito filone di ricerca – che si focalizza sull'interazione reciproca tra comunità scientifica e cultura di massa nello sviluppo di particolari idee scientifiche – appartiene propriamente all'ambito della storia delle idee. Nella disamina dei percorsi e delle tendenze di questa disciplina, Jacques Le Goff si è in effetti occupato anche del rapporto tra storia delle idee (in particolare la storia delle mentalità) e la storia delle scienze, facendo notare come spesso «il riferimento scientifico (il più delle volte fatto prescindendo da una vera conoscenza dei fatti e da una pertinente utilizzazione) ha sempre tradito il proposito dei sistemi di mentalità di trovare il sostegno di nozioni scientifiche capaci d'impressionare gl'interlocutori»². Ciò appare quanto mai vero nel caso della mentalità New Age, che è riuscita ad appropriarsi di diversi temi e idee della ricerca scientifica di frontiera, in particolare della fisica teorica contemporanea, per piegarli ai propri fini e ai propri orizzonti di senso.

Questa metamorfosi pseudoscientifica è stata tradizionalmente ignorata o volutamente demolita dagli storici della scienza, anche quelli più attenti al rapporto tra scienza e pseudoscienza. Per esempio lo storico della scienza Marco Ciardi, nell'affrontare il tema della distorsione delle idee scientifiche operata dalla

¹ Cfr. in generale sul tema M. Bucchi, *Scienza e società. Introduzione alla sociologia della scienza*, Raffaello Cortina, Milano 2010.

² J. Le Goff, *Idee, Storia delle*, «Enciclopedia Italiana – V Appendice», Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma 1992.

cosiddetta “archeologia misteriosa” con lo sviluppo della teoria degli “antichi astronauti”, ha prodotto una brillante opera di storia delle idee³, senza riuscire tuttavia a rifuggire dalla tentazione di condannare queste derive pseudoscientifiche. Compito dello storico delle idee dovrebbe essere invece quello di mettere in luce la loro genealogia, studiandone lo sviluppo in contesti culturali diversi, esimendosi da giudizi di valore e cercando di trattare tutte le idee come oggetto di studio neutro. Lo stesso Le Goff sollecitava questo approccio quando scriveva: «Ciò che, dunque, occorre conoscere sono i rapporti esistenti tra le realtà scientifiche vere e le allusioni imbastardite di cui si fa veicolo il discorso delle mentalità, per poi misurare il peso e l'evoluzione di questa componente delle mentalità»⁴. Solo così, infatti, si può riuscire, con apertura mentale, a mettere in luce eventuali contaminazioni reciproche tra comunità scientifica e cultura di massa in quel ciclo produzione-ricezione che porta alla nascita e all'affermazione delle idee.

Il presente articolo intende far propria questa esortazione programmatica e inserirsi nell'ambito del pionieristico filone di ricerca inaugurato da Kaiser, andando a studiare una particolare idea al confine tra pensiero scientifico e cultura di massa, ossia la cosiddetta “ipotesi della simulazione”, secondo cui la realtà non sarebbe che una gigantesca simulazione informatica, e ricostruendone lo sviluppo attraverso due concezioni emerse in anni recenti nella fisica teorica contemporanea: quella del cosiddetto “principio olografico” e quella della “fisica dell'informazione”. L'articolo intende evidenziare, in particolare, le contaminazioni reciproche tra queste idee e concezioni pseudoscientifiche provenienti dalla cultura popolare, fino al modo in cui esse convergono a promuovere, in anni recenti, la popolarità dell'ipotesi della simulazione. Quest'analisi pone – come si dirà nelle conclusioni – anche nuove sfide per quello che la filosofia della scienza definisce il “problema della demarcazione”.

1. L'IPOTESI DELLA SIMULAZIONE

Nell'aprile 2016 l'American Museum of Natural History di New York ha ospitato l'annuale “Isaac Asimov Memorial Debate” invitando il filosofo della mente David Chalmers e quattro scienziati – i fisici teorici Zohreh Davoudi, James Gates, Lisa Randall e Max Tegmark – a discutere della domanda: «Il nostro universo è una simulazione?». Il dibattito, che ha avuto una grande risonanza pubblica, dimostra la recente popolarità della cosiddetta “ipotesi della simula-

³ M. Ciardi, *Il mistero degli antichi astronauti*, Carocci, Roma 2017.

⁴ Le Goff, *op. cit.*

zione”, o *simulation argument*, la congettura secondo cui la risposta alla domanda del dibattito potrebbe essere affermativa. I partecipanti, chiamati dal conduttore (l’astrofisico e volto noto della tv americana Neil deGrasse Tyson) a esprimere attraverso una percentuale di probabilità il loro parere su quanto possa essere vera l’ipotesi della simulazione, hanno fornito risposte divergenti: per Tegmark la possibilità che l’universo sia una simulazione è intorno al 17%, per Chalmers il 42%, per Gates l’1%, per Randall pressoché zero, Davoudi si è rifiutata di fornire una risposta secca, mentre per lo stesso Tyson la possibilità è pari a un buon 50%⁵.

L’ipotesi della simulazione nasce nella fantascienza del XX secolo. Nel romanzo di Daniel Galouye *Simulacron-3* (1964) Douglas Hall, il protagonista del romanzo, uno dei capo-progettisti della simulazione “Simulacron-3” in grado di replicare alla perfezione il mondo reale, scopre che il suo collega Fuller si è tolto la vita dopo aver fatto una scoperta spaventosa, ossia che anche il loro universo è in realtà una simulazione. Il romanzo di Galouye introduce per primo la simulazione informatica in un filone che aveva visto, negli anni precedenti, altri autori cimentarsi con l’idea di una realtà costruita a tavolino: per esempio Fredrik Pohl col racconto *Il tunnel sotto il mondo* (1955), nel quale la cittadina in cui il protagonista si risveglia ogni mattina sempre nello stesso giorno è in realtà un plastico ricreato sul tavolo di un laboratorio, o Philip K. Dick col romanzo *Tempo fuor di sesto*, in cui la città è invece ricreata in scala 1:1, con tanto di attori, per far credere al protagonista di vivere ancora negli anni Cinquanta invece che nel XXI secolo. Quest’idea ha avuto molta fortuna negli anni successivi: basti pensare al film *The Truman Show* (1997), ispirato al romanzo di Dick, alla trasposizione cinematografica del romanzo di Galouye *Il tredicesimo piano* (1999) e naturalmente a *Matrix* (1999) e ai suoi due sequel.

L’elaborazione più sistematica dell’ipotesi della simulazione risale al 2003, quando il filosofo Nick Bostrom, oggi a capo del Future of Humanity Institute dell’Università di Oxford, pubblicava su *Philosophical Quarterly* un saggio dal titolo *Are you living in a computer simulation?*. Dopo aver riepilogato le tesi a favore della futura capacità di una civiltà intelligente di creare al computer menti dotate di consapevolezza, Bostrom speculava sulla possibilità che una civiltà post-umana fosse in grado di sviluppare “un numero astronomico” di tali simulazioni, dal che desumeva per inferenza statistica che esistano buone probabilità che anche la nostra realtà non sia altro che una di queste simulazioni, realizzata da un’altra civiltà intelligente di livello post-umano. Scrive Bostrom:

⁵ Per la trascrizione completa del dibattito e la registrazione video, cfr. la pagina dell’American Museum of Natural History (organizzatore del dibattito): <http://www.amnh.org/explore/news-blogs/podcasts/2016-isaac-asimov-memorial-debate-is-the-universe-a-simulation/>

If we are living in a simulation, then the cosmos that we are observing is just a tiny piece of the totality of physical existence. The physics in the universe where the computer is situated that is running the simulation may or may not resemble the physics of the world that we observe. While the world we see is in some sense “real”, it is not located at the fundamental level of reality⁶.

Le tesi di Bostrom sono state accolte con grande interesse negli ambienti della Silicon Valley, dove l'ideologia dominante sul futuro dell'uomo è quella del transumanesimo, l'ipotesi secondo cui molto presto sarà possibile fondere l'intelligenza umana con quella delle macchine per raggiungere un nuovo stadio dell'evoluzione, la “singolarità tecnologica”⁷. Se davvero sarà possibile, come immaginano teorici del trasumanesimo come Ray Kurzweil (oggi dirigente di Google), simulare su un computer l'intelligenza umana, allora non esiteranno limiti, in linea teorica, per simulare un universo dotato di vita consapevole. Non a caso Elon Musk, il CEO di compagnie come SpaceX e Tesla, già co-fondatore di PayPal, ha dichiarato in un'intervista di credere che la possibilità che il nostro universo sia reale e non una simulazione sia di appena una su miliardi⁸. Secondo un articolo di *The Atlantic*, inoltre, due miliardari della Silicon Valley, di cui non viene fatto il nome, starebbero investendo cifre notevoli in un programma di ricerca segreto che finanzia scienziati di tutto il mondo negli sforzi per scoprire se la nostra realtà sia vera o simulata⁹.

D'altro canto, diversi fisici teorici si sono occupati recentemente della questione. Zohreh Davoudi, una delle partecipanti all'Asimov Memoriale Debate, ha fornito un possibile metodo di verifica dell'ipotesi della simulazione, partendo dal presupposto che l'ipotetica simulazione dello spazio-tempo dovrebbe fondarsi sulla QCD su reticolo, un particolare tipo di simulazione informatica impiegata oggi nello studio della meccanica quantistica. Se i “simulatori” del nostro universo utilizzassero la stessa tecnica, basterebbe studiare le particelle emesse dai raggi cosmici ad altissima energia verificando se la loro energia limite vari al mutare della direzione di provenienza, come avverrebbe se lo

⁶ N. Bostrom, *Are You Living in a Computer Simulation?*, «Philosophical Quarterly», vol. 53 n. 211, 2003, pp. 243-255.

⁷ Cfr. R. Kurzweil, *La singolarità è vicina*, Apogeo, Milano 2008; R. Campa, *Mutare o perire. La sfida del transumanesimo*, Sestante Edizioni, Bergamo 2010; R. Paura, *Singularity Believers and the New Utopia of Transhumanism*, «Im@go» anno V n. 7, 2016, pp. 23-55.

⁸ O. Solon, *Is our world a simulation? Why some scientists say it's more likely than not*, «The Guardian», 11 ottobre 2016.

⁹ S. Kriss, *Tech Billionaires Want to Destroy the Universe*, «The Atlantic», 13 ottobre 2016.

spazio-tempo fosse un reticolo pixelato¹⁰.

Il matematico e cosmologo John Barrow suggerisce di cercare delle *patch*, come si definiscono in gergo informatico le correzioni di errori che emergono successivamente al lancio di un software; nel caso dell'universo, si tratterebbe di modifiche alle costanti di natura e alle leggi fondamentali introdotte di tanto in tanto dai simulatori per correggere errori che si accumulano nel tempo. Come scrive nel suo *Il libro degli universi*:

Se i simulatori usassero i codici informatici di correzione degli errori per premunirsi dalla fallibilità generale delle loro simulazioni (e li simulassero su scala inferiore al nostro codice genetico), ogni tanto verrebbe apportata una correzione allo stato della simulazione o alle leggi che la governano. Avverrebbero allora improvvisi cambiamenti in apparente contraddizione con le stesse leggi di natura che gli scienziati simulati erano abituati a osservare e predire¹¹.

Un altro dei partecipanti all'Asimov Memorial Debate, James Gates, direttore del Center for String and Particle Theory all'Università del Maryland di College Park, sostiene che una simile *patch* si trovi all'interno di un formalismo che descrive la supersimmetria, un'estensione del Modello Standard della fisica delle particelle che sostiene l'esistenza di una simmetria tra le due famiglie di particelle note, i fermioni e i bosoni. Per descrivere geometricamente il modo in cui queste due famiglie di particelle si "accoppiano", Gates e i suoi colleghi usano delle figure molto complesse, chiamati "adinkra", che nella cultura Ashanti rappresentato una sorta di ideogrammi, e che permettono di visualizzare un meccanismo che si suppone reale nel mondo della natura. Il loro funzionamento, tuttavia, sembra possibile soltanto accettando l'idea che gli adinkra "nascondano" al loro interno una sorta di codice binario, noto agli informatici come codice di Hamming, sviluppato fin dagli anni Cinquanta del secolo scorso per la correzione degli errori di trasmissione. Solo se si inseriscono codici binari simili a questi – in gergo noti appunto come *error-correcting codes*, codici di correzione degli errori – gli adinkra possono funzionare consentendo di mantenere, in ogni trasformazione, le proprietà supersimmetriche¹².

Nel seguito di questo articolo si analizzerà lo sviluppo di due linee di pensiero emerse nella seconda metà del XX secolo, quella del principio olografico e

¹⁰ S.R. Beane, Z. Davoudi, M.J. Savage, *Constraints on the Universe as a Numerical Simulation*, «The European Physical Journal A», vol. 50 n. 148, settembre 2014.

¹¹ J.D. Barrow, *Il libro degli universi*, Mondadori, Milano 2012, p. 263.

¹² S.J. Gates Jr., *Symbols of Power: Adinkras and the Nature of Reality*, «Physics World», vol. 23 n. 6, 2010, pp. 34-39.

quella della fisica dell'informazione, per comprendere in che modo un'idea così poco plausibile come l'ipotesi della simulazione, nata all'interno dell'immaginario popolare del secolo scorso, abbia conquistato oggi tanta credibilità, al punto da spingere filosofi, fisici e cosmologi a prenderla in seria considerazione.

2. IL PRINCIPIO OLOGRAFICO

2.1 *La proposta di David Bohm*¹³

La congettura oggi nota come “principio olografico” fu proposta per la prima volta dal fisico teorico americano David Bohm alla fine degli anni Settanta. Bohm, che aveva studiato all'Università di Berkeley con J. Robert Oppenheimer prima che questi fosse messo a capo del progetto Manhattan, per poi trasferirsi a Princeton e avere molti scambi con Albert Einstein, fu costretto dal maccartismo a lasciare gli Stati Uniti a causa dei suoi brevi trascorsi nel partito comunista, e per un certo periodo insegnò all'Università di San Paolo in Brasile.

In quella prima fase della sua carriera, dopo aver pubblicato uno dei manuali di riferimento per lo studio della meccanica quantistica¹⁴, si concentrò su uno dei problemi rimasti inevasi della fase “classica” del dibattito filosofico sui fondamenti della fisica quantistica, il cosiddetto “paradosso EPR” (dal nome dei fisici Einstein, Podolsky e Rosen che l'avevano proposto come esperimento mentale nel 1935): esso supponeva che, accettando il principio d'indeterminazione di Heisenberg relativo alle proprietà delle particelle subatomiche, e l'interpretazione classica di Copenaghen della meccanica quantistica secondo cui è la misurazione della proprietà di una particella a far “collassare” il suo stato indeterminato in un parametro preciso e misurabile, si sarebbe verificata una violazione del limite di trasmissione d'informazione posto dalla velocità della luce previsto dalla teoria della relatività.

Nello specifico, se si hanno due sub-particelle che condividono proprietà speculari perché prodotte dalla scissione di una particella-madre – per esempio lo spin della particella A ha un valore pari a $+1/2$ mentre quella particella B è $-1/2$, per la legge di conservazione del momento angolare – la misurazione di una proprietà della particella A ha effetto istantaneo sulla proprietà speculare della particella B, a prescindere dalla distanza. Questo fenomeno, oggi noto con il

¹³ Sono grato all'anonimo revisore di quest'articolo per i preziosi suggerimenti per la redazione di questo paragrafo.

¹⁴ D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York, 1951.

termine *entanglement* attribuitogli da Erwin Schrödinger¹⁵, fu definito da Einstein “azione fantasmatica a distanza” perché viola due principi della fisica classica: in primo luogo perché la proprietà della particella A o B è in uno stato indeterminato finché non viene effettuata la misurazione, per cui il valore che emergerà dalla misurazione è del tutto casuale, e nondimeno la particella speculare assumerà la proprietà opposta, mostrando l’esistenza di una correlazione casuale; e in secondo luogo perché, suggerendo l’esistenza di una correlazione che non tiene conto della distanza, viola il principio di località (in base al quale oggetti distanti non possono avere influenza causale reciproca in modo istantaneo).

Il paradosso EPR suggeriva un errore nell’interpretazione tradizionale della meccanica quantistica, l’esistenza di “variabili nascoste” che potessero spiegare l’*entanglement* senza richiedere una trasmissione superluminale di informazione tra le due particelle¹⁶. Questa fu, in un primo tempo, la posizione di Bohm, estremamente conservatrice anche rispetto alle posizioni più caute sull’interpretazione della meccanica quantistica, poiché la teoria delle variabili nascoste negava, in sostanza, l’indeterminismo alla base della rivoluzione dei quanti. Lo stesso Einstein, che pure aveva proposto l’esperimento mentale EPR per mostrare i limiti dell’interpretazione di Copenaghen, riteneva la proposta di Bohm troppo debole¹⁷.

Nel 1964, infatti, il teorema proposto da John Stewart Bell stabilì che la teoria delle variabili nascoste era errata, e che si dovesse considerare il principio di località non valido nell’ambito della meccanica quantistica¹⁸. La non-località divenne pertanto il “biglietto da visita” del mondo sub-atomico, costringendo Bohm a sviluppare nuove spiegazioni per questo inquietante fenomeno. È ormai accertato che in questa seconda fase della sua carriera gli fu influenzato dalle conversazioni che ebbe negli anni Settanta (all’epoca in cui si trasferì nel Regno Unito) con il guru New Age indiano Krishnamurti; egli si convinse (come altri fisici in quel periodo, vedi *infra* §2.2 e §2.3) che il misticismo orientale nascon-

¹⁵ E. Schrödinger, *Discussion of Probability Relations Between Separated Systems*, «Proceedings of the Cambridge Philosophical Society», vol. 31, 1935, pp. 555–563; vol. 32, 1936, pp. 446–451.

¹⁶ Cfr. sul tema, tra i tanti: P. Halpern, *I dadi di Einstein e il gatto di Schrödinger*, Raffaello Cortina, Milano 2016.

¹⁷ In una lettera a Max Born, Einstein scriveva infatti: «Have you noticed that Bohm believes (as de Broglie did, by the way, 25 years ago) that he is able to interpret the quantum theory in deterministic terms? That way seems too cheap to me» (O. Freire Junior, *The Quantum Dissidents, Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics 1950-1990*, Springer, Heidelberg, 2015, p. 44).

¹⁸ Cfr. J.S. Bell, *Dicibile e indicibile in meccanica quantistica*, Adelphi, Milano 2010.

desse alcune verità che la fisica occidentale avrebbe potuto riscoprire¹⁹. Fu in particolare attirato dall'idea dell'esistenza di una realtà "nascosta", comune a diverse filosofie orientali, che potesse spiegare il paradosso EPR.

Con una serie di articoli pubblicati nel corso degli anni Settanta sulla rivista *Foundations of Physics*, poi raccolti ed estesi nel saggio *Wholeness and the Implicate Order* (1980), Bohm avanzò pertanto la teoria dell'ordine implicito, secondo cui la non-località dei fenomeni quantistici sarebbe spiegabile attraverso la distinzione tra due diversi piani della realtà, il *foreground* (ordine esplicito) e il *background* (ordine implicito), che determina i fenomeni fisici. Ciò che nel *foreground* appare come diviso e frammentato, nel *background* esiste come unità spazio-temporale, di cui le particelle e gli altri fenomeni che osserviamo sono espressione. Risulta evidente, dunque, come la teoria dell'ordine implicito risolvesse il paradosso EPR: ciò che nel *foreground* appare come una connessione istantanea tra due particelle A e B, non è altro che la manifestazione di un'unità indivisa esistente a livello di *background*, dove non esistono distanze spazio-temporali.

Bohm paragonò l'interazione tra questi due piani della realtà alle proprietà degli ologrammi. I principi dell'olografia erano stati scoperti nel 1947 da Dennis Gabor, ma solo lo sviluppo della tecnologia laser negli anni Sessanta permise di produrre le prime applicazioni pratiche. Gli ologrammi rappresentavano pertanto una novità in quegli anni. A colpire Bohm furono due principi dell'olografia: il primo è la possibilità di riprodurre un'immagine tridimensionale attraverso l'interferenza tra due fasci laser su una lastra, che si può considerare bidimensionale, cosicché l'informazione relativa all'oggetto tridimensionale riprodotto è in realtà codificata su una superficie a dimensioni inferiori; il secondo è che ogni parte della lastra olografica possiede l'informazione a partire dalla quale è possibile riprodurre l'ologramma, cosicché a differenza di una fotografia (dove ogni pixel della foto è la rappresentazione di un punto dell'immagine fotografata) è possibile ottenere comunque riprodurre l'intero ologramma anche se si frammenta la lastra olografica (da qui anche il nome, che deriva da ὅλος, termine che in greco antico sta per "tutto, l'intero"). Nel suo testo del 1980, Bohm sviluppò il paragone con gli ologrammi affermando che la metafora fosse

particularly suitable for the understanding of such unbroken wholeness in flowing movement, for in the implicate order the totality of existence is enfolded within each region of space (and time). So, whatever part, element, or aspect we may abstract in thought, this still enfolds the whole and is therefore intrinsically related to the totality from which it has been abstracted. Thus, wholeness permeates

¹⁹ Cfr. J. Krishnamurti e D. Bohm, *Dove il tempo finisce*, Ubaldini Editore, Roma 1986.

all that is being discussed, from the very outset.²⁰

2.2 La fascinazione della New Age

La proposta di Bohm, destinata ad essere a lungo ignorata dalla maggior parte della comunità scientifica, trovò terreno fertile nella controcultura americana degli anni Settanta, in particolare nel movimento New Age, caratterizzato da una serie di elementi peculiari quali la contrapposizione nei confronti dell'establishment politico, scientifico e culturale, l'attenzione alla ricerca interiore e la sperimentazione di mezzi per facilitare il naturale contatto tra la coscienza e il mondo esterno (generalmente attraverso l'uso di sostanze allucinogene), l'ecllettismo, la fascinazione nei confronti di "guru" spirituali o filosofici, la riscoperta di tradizioni culturali opposte a quella occidentale *mainstream*, in particolare le culture sciamaniche, quelle degli indiani d'America, le culture orientali²¹.

Questo variegato *milieu* culturale promosse ciò che David Kaiser e W. Patrick McCray hanno definito *groovy science*, ossia l'attenzione a tendenze della ricerca scientifica ai margini della ricerca istituzionale, in particolare alternative a quelle finanziate dal complesso militare-industriale americano della Guerra fredda²². Alcuni dei temi della *groovy science* ricadono in ciò che oggi definiremmo "pseudoscienza": in particolare fu data grande attenzione alla sperimentazione scientifica per spiegare i presunti fenomeni ESP, ossia paranormali, sulla base della convinzione che i paradossi della meccanica quantistica potessero fornirne una spiegazione razionale. In questo ambito fu particolarmente attivo il Fundamental Fysics Group nato all'Università di Berkeley nel 1975 per iniziativa di un gruppo di studenti di fisica appartenenti ai movimenti della controcultura.

Il programma di ricerca steso da uno dei suoi membri, Saul-Paul Sirag, nel 1976, evidenzia il percorso eterodosso da loro intrapreso: partendo dallo studio del paradosso EPR e del teorema di Bell, accettando quindi il principio non-locale della meccanica quantistica, essi intendevano studiare la psicocinesi, il ruolo dell'osservatore nella creazione della realtà, il viaggio nel tempo, la telepatia e le comunicazioni extraterrestri (alla luce del trasferimento superluminale di

²⁰ D. Bohm, *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge, Londra-New York 2002, p. 240.

²¹ Cfr. L. Berzano, *New Age*, Il Mulino, Bologna 1999.

²² Cfr. D. Kaiser e W.P. McCray (a cura di), *Groovy Science. Knowledge, Innovation, and American Counterculture*, The University of Chicago Press, Chicago 2016.

informazione che il fenomeno dell'*entanglement* sembrava consentire)²³. Le loro ricerche e teorie trovarono poi terreno fertile di propagazione nei seminari organizzati presso il celebre Esalen Institute di Big Sur in California, «incubatore magico di tutto il mondo New Age», presso il quale per molti anni i membri del gruppo «organizzarono workshop e convegni, mischiando liberamente le più recenti raffinatezze culturali – dall'Lsd al misticismo orientale alla lettura del pensiero – con un'ingente dose di fisica quantistica»²⁴.

David Bohm fu coinvolto attivamente dal Fundamental Fysiks Group negli anni in cui si trovava al Birkbeck College dell'Università di Londra. Lì conobbe uno dei fondatori del gruppo di Berkeley, Fred Alan Wolf, docente di fisica al San Diego State College, che negli anni era stato influenzato dalle teorie eterodosse di molti suoi studenti *hippie*. Nel 1971, nel corso di un anno sabbatico, Wolf si recò prima in India e in Nepal, dove sperimentò presunte esperienze extracorporeali in un tempio buddhista, e poi al Birkbeck College. È possibile supporre che Bohm sia stato influenzato anche da quelle discussioni (oltre che da quelle con Krishnamurti) per lo sviluppo della sua teoria dell'ordine implicito. Di certo Bohm si lasciò affascinare dall'ipotesi di poter spiegare i presunti fenomeni ESP con il principio della non-località, e portò avanti insieme a Wolf esperimenti sul noto sensitivo Uri Geller per verificare le sue presunte abilità telecinetiche. Sull'esperimento pubblicò anche un articolo sulla rivista *Nature* insieme a Wolf, nel quale, pur andando cauti sulle implicazioni teoriche, i due fisici si spinsero a confermare le capacità paranormali del sensitivo²⁵.

Se Bohm, nello sviluppo della sua proposta teorica, fu dunque influenzato dalla cultura New Age di quegli anni, di certo anche il Fundamental Fysiks Group ne fu a sua volta influenzato; nel popolarissimo best-seller di Fritjof Capra (uno dei membri del gruppo) *Il Tao della fisica*, pubblicato nel 1975, in cui si azzardavano connessioni tra i paradossi della meccanica quantistica e il misticismo orientale (in particolare i *koan zen*), la proposta di Bohm fu resa nota al grande pubblico attraverso una citazione tratta da un articolo pubblicato proprio quell'anno da Bohm e dal suo collaboratore Basil Hiley:

Si è condotti a una nuova concezione di totalità ininterrotta che nega l'idea classica della possibilità di analizzare il mondo in parti esistenti in maniera separata e indipendente... Abbiamo rovesciato la consueta concezione classica secondo la quale le "parti elementari" indipendenti del mondo sono la realtà fondamentale e i vari sistemi sono solo forme e disposizioni particolari e contingenti di tali parti.

²³ Cfr. D. Kaiser, *Come gli hippie hanno salvato la fisica*, Castelvechchi, Roma 2012, pp. 84-85.

²⁴ Ivi, p. 15.

²⁵ Cfr. ivi, pp. 88-90.

Anzi, diciamo che la realtà fondamentale è l'inseparabile interconnessione quantistica di tutto l'universo e che le parti che hanno un comportamento relativamente indipendente sono solo forme particolari e contingenti dentro a questo tutto²⁶.

2.3 *L'appropriazione del principio olografico da parte della cultura New Age*

La fascinazione subita dalla cultura New Age nei confronti del principio olografico, secondo cui la realtà che percepiamo non sarebbe che la “proiezione” di una realtà “nascosta”, in cui quel che qui ci appare come separato e distinto è la manifestazione di un tutto indiviso presente nel *background*, può essere meglio compresa rintracciando la persistenza di questa teoria all'interno di diversi test-cult che possono essere considerati alla base della New Age.

Nel 1975 (lo stesso anno dell'uscita de *Il Tao della fisica*) i fratelli Terence e Denis McKenna – il primo sedicente “etnobotanico”, il secondo specializzato in neurobiologia, ma in generale entrambi più a loro agio nelle spedizioni in tenda nell'America centrale in cerca di funghi allucinogeni che nei laboratori di ricerca – pubblicarono *The Invisible Landscape. Mind, Hallucinogens and the I Ching*, testo che ebbe molta influenza nella letteratura psichedelica.

In questo libro, oltre a descrivere le proprietà allucinogene di alcune piante e funghi sudamericani e a elaborare una fantasiosa teoria pseudo-matematica che collegava il testo divinatorio cinese *I Ching* (riscoperto in quegli anni grazie a un'edizione Princeton introdotta da Carl Gustav Jung) alla profezia Maya sul 2012, ipotizzando l'esistenza di “cicli energetici” che avrebbero raggiunto un picco in quell'anno, i fratelli McKenna resero nota al grande pubblico una proposta del neurofisiologo dell'Università di Stanford Karl Pribram, la cosiddetta “teoria olonomica del cervello”, esposta per la prima volta nel 1971 nel testo *Languages of the Brain*²⁷. Secondo tale ipotesi, i fenomeni cognitivi del cervello si comporterebbero in modo analogo agli ologrammi: non esisterebbe cioè una corrispondenza biunivoca tra una parte della memoria o della percezione e una specifica sezione del cervello, ma ogni neurone e sinapsi del cervello conterrebbe simultaneamente l'informazione relativa all'insieme dei fenomeni cognitivi. Riassumono i McKenna: «As in a hologram, the meaning – stored memory or learned information – appears to be stored ubiquitously throughout the cerebral matrix rather than to be caused by the interrelationship of separate

²⁶ F. Capra, *Il Tao della fisica*, Adelphi, Milano 2006, p. 157; Capra trae la citazione da D. Bohm e B. Hiley, *On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory*, «Foundations of Physics», vol. 5 n. 93, 1975, pp. 96-102.

²⁷ K. Pribram, *Languages of the Brain*, North Hollywood:CA, Brandon House, 1971.

parts»²⁸.

Appare qui già in nuce un aspetto di cui si discuterà nel §3, ossia l'influenza della teoria dell'informazione nello sviluppo del principio olografico: di fatto, ciò che colpì i McKenna della teoria di Pribram è l'idea che il cervello agirebbe come una scheda di memoria hardware che immagazzina l'informazione (i bit) di cui è composta l'esperienza cosciente, che qui appare come un fenomeno di tipo emergente. Secondo i McKenna, inoltre, la mente di ciascun individuo costituirebbe la rappresentazione di un' *essenza* della realtà:

We can imagine all of the universe or any part of it and thus can say that the mind "contains" all of the physical world, that is, that the mind is a hologram of external reality. This concept has been anticipated by the alchemists in their notion of man as microcosm, and also in the symbol of the alchemist monad (...), a synonym for the *Lapis Philosophorum*, that part in which the whole may be found. Reference might also be made to the central axiom of Hermeticism, the Hellenistic philosophical system that is the forerunner of alchemy: "What is here is everywhere; what is not here is nowhere" (...). This is a formula for a holographic matrix²⁹.

La teoria olografica dei fratelli McKenna permetteva, a loro dire, il collegamento tra la realtà esterna e la coscienza. Già alcune versioni "radicali" dell'interpretazione di Copenaghen della meccanica quantistica accennavano al ruolo dell'osservatore nel passaggio dall'indeterminismo quantistico alla realtà deterministica che sperimentiamo: era questa, per esempio, la posizione espressa dalla cosiddetta "interpretazione Von Neumann-Wigner" sul ruolo della coscienza nel collasso oggettivo della funzione d'onda³⁰. Il programma di ricerca del Fundamental Fysiks Group attribuiva molta importanza a quest'idea, rifiutando la versione "debole" dell'interpretazione di Copenaghen, secondo cui per osservatore si deve intendere un qualsiasi apparato di misurazione, o meglio un qualsiasi sistema macroscopico con cui il sistema quantistico entra in contatto. Per tale motivo, nella seconda metà degli anni Settanta alcuni membri di quel gruppo confluirono nel Consciousness Theory Group, che grazie a una serie di donazioni di entusiasti di fisica e neuroscienze poté invitare ai propri lavori

²⁸ T. McKenna e D. McKenna, *The Invisible Landscape. Mind, Hallucinogens and the I Ching*, HarperCollins, New York 1993, p. 46.

²⁹ Ivi, pp. 50-51.

³⁰ Cfr. J. Von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, [1932], Princeton University Press, Princeton: NJ, 1996; F. London e E. Bauer, *La théorie de l'observation en mécanique quantique* [1939], in J.A. Wheeler e W.H. Zurek (a cura di), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University, Princeton, 1983, pp. 217-259.

anche lo stesso Bohm (le cui prime interpretazioni della meccanica quantistica, per inciso, erano di tono decisamente opposto a quelle dell'interpretazione Von Neumann-Wigner, rifiutando Bohm il carattere essenzialmente indeterministico della teoria)³¹.

Il testo dei McKenna influenzò anche il noto scrittore di fantascienza Philip K. Dick, riferimento imprescindibile per le letture di quegli anni, che in quel periodo viveva alla periferia di Los Angeles. Dick era stato colpito nel 1974 da una visione psichedelica, che l'aveva convinto – come in uno dei suoi romanzi – che il mondo in cui viveva non era reale, ma una proiezione creata per nascondere il vero piano della realtà per scopi sinistri. Da allora, e fino alla morte occorsa nel 1982, Dick elaborò le sue riflessioni su quell'avvenimento e su altre esperienze che ebbe successivamente in una densa mole di appunti, che definì la sua “esegesi”. Buona parte di quelle considerazioni confluirono poi nella sua *Trilogia di Valis* (1981-1982). In una lettera all'amica Claudia Bush del 14 febbraio 1975, Dick scrive:

Cara Claudia, se dovessi dirti ‘L’universo che noi percepiamo è un ologramma’, potresti pensare che ho detto qualcosa di originale, salvo poi renderti conto che ho semplicemente aggiornato la metafora di Platone delle immagini che appaiono sulle pareti della nostra caverna, immagini che prendiamo per reali. L’universo come ologramma tuttavia fa più colpo come visione perché l’ologramma è così straordinariamente simile alla realtà cui esso si riferisce – essendo in forma di falsa cubatura, tanto per dirne una – che potremmo prenderlo per qualcosa di più di una mera affermazione poetica.

Dick non conosceva probabilmente Bohm (non lo cita infatti mai nei suoi appunti), ma apprese della teoria olografica del cervello di Pribram nella versione “New Age” dei McKenna attraverso il saggio *Cosmic Trigger* di Robert Anton Wilson (1977), un testo delirante che fondeva insieme meccanica quantistica, fenomeni ESP, collegamenti telepatici con gli extraterrestri e teorie cospirazioniste. In un appunto degli inizi del 1978, Dick riportò un brano del libro di Wilson che sintetizzava le teorie dei McKenna sull’universo e sulla mente olografica, utilizzandolo per sostenere la tesi che «il nostro universo» è «un ologramma» frutto dell'incrocio di «due fonti laser» che costituiscono due realtà diverse³²; Dick, tuttavia, aggiunse a questa tesi la convinzione che l’universo olografico in cui viviamo fosse una simulazione prodotta da una civiltà tecnologicamente superiore per dare all’umanità l’illusione di vivere in una realtà diversa da quella effettiva: idea che prefigura, com’è noto, quella del film *Matrix*.

³¹ Cfr. D. Kaiser, *Come gli hippie...*, cit., p. 115.

³² P.K. Dick, *L’Esegesi*, Fanucci, Roma 2015, p. 458.

In un convegno a Cordoba nel 1979, Pribram conobbe David Bohm e apprese della sua teoria dell'ordine implicito, che lo colpì profondamente: egli vi intuì la possibilità di un collegamento con la sua teoria olografica mente/cervello, che difettava di una concreta spiegazione del modo in cui il cervello riuscirebbe a produrre all'interno della mente un'immagine tridimensionale del mondo esteriore. Iniziò così una corrispondenza tra i due che proseguì fino alla morte di Bohm, nel 1992. L'anno prima, Pribram pubblicò *Brain and Perception*³³, nel quale estendeva la sua teoria tenendo conto della proposta di Bohm.

Una sintesi delle teorie di Bohm e Pribram in una forma radicalmente distorta rispetto alle loro impostazioni si trova nel fortunato saggio di Michael Talbot, autore di testi divulgativi a cavallo tra scienza e pseudoscienza, *The Holographic Universe* (1991). In esso Talbot, citando frequentemente gli scritti dei due scienziati, arrivava alla seguente conclusione:

I nostri cervelli costruiscono matematicamente la realtà oggettiva, interpretando frequenze che sono in definitiva proiezioni provenienti da un'altra dimensione, un ordine di esistenza più profondo al di là dello spazio e del tempo: il cervello è un ologramma celato in un universo olografico³⁴.

Da qui, Talbot si spingeva a spiegare attraverso il principio olografico fenomeni paranormali come le esperienze pre-morte, lo sciamanismo, la telepatia, la telecinesi, la precognizione, gli UFO e molto altro, in pieno stile New Age.

3 LA FISICA DELL'INFORMAZIONE

3.1 Dallo spazio-tempo al cyberspazio

Nella seconda metà degli anni Quaranta l'avvento dell'informatica (che aveva giocato un ruolo strategico nella Seconda guerra mondiale grazie ai primi calcolatori in grado di decrittare i codici nemici) trovò una sua sistematizzazione teorica con i contributi di Claude Shannon e Norbert Wiener, due matematici "prestati" al nascente e ben remunerato settore dell'ingegneria informatica. Shannon, in particolare, con il suo saggio *A Mathematical Theory of Communication* (1948), coniò il termine "bit", definito come l'unità minima di informa-

³³ K. Pribram, *Brain and Perception*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah NJ, 1991.

³⁴ M. Talbot, *Tutto è uno. L'ipotesi della scienza olografica*, Feltrinelli, Milano 2016, p. 61.

zione³⁵. L'altrimenti vago concetto di "informazione" iniziò pertanto ad assumere una sorta di consistenza fisica, dal momento che il "bit" poteva essere considerato come l'equivalente informatico delle particelle elementari, costituenti ultimi della materia. Così come non è importante la forma che la materia assume nel mondo macroscopico, dal momento che su scala microscopica essa è composta in realtà di particelle elementari uguali tra loro, così secondo Shannon non è importante la forma che assume la comunicazione – ossia la trasmissione di informazione – dal momento che il suo contenuto è sempre esprimibile in bit. Secondo il matematico Charles Seife, «l'informazione ha in sé qualcosa che trascende il mezzo che la contiene. È un'entità fisica, una proprietà degli oggetti, come l'energia, il lavoro, o la massa»³⁶.

Norbert Wiener estese quest'intuizione fondando la "cibernetica", e spingendosi a sostenere che anche l'identità biologica di un essere vivente potesse essere ricondotta a unità d'informazione³⁷. La scoperta, di lì a qualche anno, della molecola del DNA, fu pertanto interpretata alla luce della teoria dell'informazione, divenendo di uso comune definire il DNA il "codice della vita", un'informazione codificata che viene trasmessa alla prole e che consente all'organismo umano di funzionare e svilupparsi.

Questo rapido slittamento del concetto di informazione dalla totale astrazione a una sorta di realtà tangibile, riconducibile in ultima analisi ai bit, ebbe grande risonanza dal punto di vista dell'immaginario popolare, come ha abilmente ricostruito Erik Davis nel suo testo *Techgnosis* (1999). Il movimento New Age, molto sensibile ai temi gnostici, rintracciò nella distinzione tra informazione e mezzo di comunicazione, o meglio tra software e hardware, un analogo di quella distinzione tra anima e corpo (o tra mente e cervello) molto popolare in quegli anni. Quando i fratelli McKenna analizzavano la struttura dell'*I Ching* in cerca di un "codice nascosto", riconducevano gli esagrammi di cui è composto il testo a unità d'informazione in grado, secondo la loro teoria, di replicare l'informazione codificata nel DNA, sottoposta a mutamenti energetici periodici. Anche Dick, che utilizzava l'*I Ching* per definire le trame dei suoi romanzi, nel suo capolavoro *La svastica sul sole* (1962) arrivò a immaginare che le diverse possibilità espresse dagli esagrammi (riconducibili in ultima analisi all'opposizione binaria 0 e 1 dei bit) potessero esprimere linee di realtà diverse,

³⁵ C. Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, «Bell System Technical Journal», vol. 27 n. 3, 1948, pp. 379-423.

³⁶ C. Seife, *La scoperta dell'universo. I misteri del cosmo alla luce della teoria dell'informazione*, Bollati Boringhieri, Milano 2011, p. 65.

³⁷ Cfr. N. Wiener, *Introduzione alla cibernetica. L'uso umano degli esseri umani*, Bollati Boringhieri, Milano 2012.

come quella in cui le potenze dell'Asse hanno vinto la Seconda guerra mondiale in cui si ambienta il suo romanzo.

Quando, nel corso degli anni Ottanta, i personal computer iniziarono a invadere le case delle famiglie occidentali, in particolare negli Stati Uniti, e si avviarono i primi passi di quella che sarebbe diventata la Rete globale in grado di connettere tra loro in un "cyber-spazio" tutti i dispositivi virtuali, la sensazione di poter entrare tangibilmente in contatto con quel mondo virtuale fatto di bit si accrebbe al punto che scrittori di fantascienza come William Gibson e Bruce Sterling inaugurarono una nuova corrente letteraria, il *cyberpunk*, le cui storie erano quasi sempre ambientate in un cyber-spazio in cui gli utenti possono "calarsi" fisicamente attraverso l'intermediazione dei computer, trasformando l'informazione dei loro atomi in "bit". Nel suo romanzo *Neuromante* (1984), testo fondativo del cyberpunk, il cyber-spazio veniva definito da Gibson

un'allucinazione vissuta consensualmente ogni giorno da miliardi di operatori legali, in ogni nazione, da bambini a cui vengono insegnati i concetti della matematica... Una rappresentazione grafica di dati ricavati dalle memorie di ogni computer del sistema umano. Impensabile complessità. Linee di luce disposte nel non-spazio della mente, ammassi e costellazioni di dati³⁸.

L'idea di uno stretto collegamento tra la realtà che percepiamo, costituita da atomi, e quella virtuale, costituita da bit d'informazione, era stata evocata già da Shannon, quando si era reso conto che la sua teoria dell'informazione era equivalente alla seconda legge della termodinamica, che descrive l'entropia di un sistema. Nell'interpretazione di Ludwig Boltzmann, l'entropia è una legge statistica che descrive la probabilità di distribuzione degli atomi all'interno di un ambiente delimitato; gli atomi, o più generalmente gli stati microscopici di un sistema fisico, possono occupare un numero finito di configurazioni all'interno di un sistema macroscopico chiuso, come gli atomi di un gas all'interno di un contenitore. Statisticamente è molto più probabile che si disporranno in modo da occupare l'intero volume del contenitore, anziché un angolo specifico. In tal caso l'entropia del sistema (intesa grosso modo come il livello di "disordine") è maggiore, coerentemente con la previsione della seconda legge della termodinamica che prevede una crescita costante dell'entropia³⁹.

Nello studiare il modo in cui l'informazione può essere trasmessa e immagazzinata, Shannon scoprì che le configurazioni che i bit possono assumere all'interno di uno spazio delimitato (per esempio una scheda di memoria) sono

³⁸ W. Gibson, *Neuromante*, Mondadori, Milano 2003, p. 54.

³⁹ Cfr. C. Seife, *op. cit.*, pp. 29-64.

ugualmente finite, e che l'entropia non è che la misura dell'informazione posseduta da un sistema. Nel 1961 il fisico dell'IBM Rolf Landauer si rese inoltre conto che, quando un'informazione viene eliminata all'interno di un computer, il processore la restituisce nell'ambiente esterno in forma di calore, dal momento che il processore emette una temperatura tanto maggiore quanto maggiori sono le attività di calcolo che svolge; l'aumento della temperatura nell'ambiente corrisponde, ovviamente, a un aumento dell'entropia ambientale⁴⁰.

Ciò favorì l'emergere delle prime teorie che suggerivano una similitudine tra la realtà in cui viviamo e la realtà virtuale dei computer. Edward Fredkin, scienziato informatico autodidatta e docente al MIT, propose per primo negli anni Ottanta che l'universo potesse considerato il prodotto di particolari "programmi informatici", quelli che negli anni Cinquanta il grande fisico e pioniere dell'informatica John von Neumann chiamò "automi cellulari"⁴¹. Gli automi cellulari sono algoritmi molto semplici che descrivono l'evoluzione dalla semplicità alla complessità sulla base di poche, semplici regole. Il più celebre è il cosiddetto "gioco della vita", sviluppato da John Conway, in cui su una griglia sono posizionate delle celle che si evolvono sviluppando forme complesse seguendo semplici istruzioni per lo spostamento all'interno della griglia.

Queste istruzioni sono di tipo binario, ossia sì/no, vero/falso. Erik Davis spiega così la tesi di Fredkin:

Aderendo ad una sorta di panteismo digitale, Fredkin immagina l'universo come un grande automa cellulare – uno di quei programmi per computer che consta di semplici elementi e funzioni basilari, ma che col tempo produce complesse ecologie cibernetiche. Ed una volta considerato l'universo come un'immensa matrice logica di algoritmi, l'attività dei computer terreni di oggi potrebbe ben assumere un metafisico, quasi demiurgico, potere. La macchina universale diviene così una macchina che costruisce universi⁴².

3.2 *It from Bit*

John Archibald Wheeler fu uno dei pionieri della gravità quantistica, il tentativo di trovare una teoria unitaria che tenga insieme i due grandi paradigmi della fisica teorica, la relatività generale (che descrive la gravità) e la meccanica

⁴⁰ Cfr. R. Landauer, *Irreversibility and heat generation in the computing process*, «IBM Journal of Research and Development», vol. 5, 1961, pp. 183-191.

⁴¹ Cfr. J. Von Neumann e A. W. Burks, *Theory of self-reproducing automata*, University of Illinois Press, Urbana 1966.

⁴² E. Davis, *Technognosis*, Ipermedium Libri, Napoli 2001, p. 141.

quantistica (che descrive le altre tre forze fondamentali, agenti a livello microscopico). Coniò il celebre termine “buco nero” e la fortunata idea che l’universo, al livello più elementare, sia discreto e non continuo, costituito da una “schiuma spazio-temporale”.

Pur essendo un fisico teorico rigoroso, fu tuttavia sempre interessato alle visioni più eterodosse e radicali, come l’ipotesi del multiverso o quella, da lui elaborata, dall’universo “partecipativo”, in cui il ruolo dell’osservatore previsto dall’interpretazione di Von Neumann-Wigner della meccanica quantistica viene enfatizzato fino al punto da immaginare che l’osservatore cosciente sia una *conditio sine qua non* per l’esistenza stessa dell’universo. Per tali motivi, Wheeler fu uno dei fisici più apprezzati e citati dal Fundamental Fysics Group, con i cui membri aveva avuto numerosi scambi epistolari, pur prendendo le distanze dalle loro visioni New Age⁴³.

Nella fase più avanzata della sua brillantissima carriera, Wheeler si convertì alla teoria dell’informazione, convinto che l’applicazione di questo paradigma alla fisica teorica potesse rivoluzionare completamente questo settore. Per sintetizzare il suo programma di ricerca, Wheeler utilizzò un’espressione, o meglio una domanda, destinata a produrre una vasta e duratura eco nel mondo della fisica teorica: “It from Bit?”. Come spiegò nell’articolo del 1989 nel quale per la prima volta propose questa tesi programmatica:

It from bit symbolizes the idea that every item of the physical world has at bottom — at a very deep bottom, in most instances — an immaterial source and explanation; that what we call reality arises in the last analysis from the posing of yes-no questions and the registering of equipment-evoked responses; in short, that all things physical are information-theoretic in origin and this is a participatory universe⁴⁴.

In questa visione Wheeler fondeva anche le sue teorie precedenti: in particolare, rigettava la suggestiva ipotesi di un’analogia tra universo e computer, ritenendo che tale analogia implicasse l’esistenza di un “programmatore” cosmico, qualcuno che facesse funzionare il computer, sostenendo piuttosto l’idea di un universo che si “auto-sintetizza”, versione aggiornata alla luce della teoria dell’informazione della sua vecchia teoria dell’universo partecipativo; inoltre, l’idea di una realtà composta di bit non era, a sua volta, che la versione “informatizzata” della sua concezione di uno spazio-tempo discreto, non continuo,

⁴³ Cfr. D. Kaiser, *Come gli hippie...*, cit., pp. 112-113, 215-216.

⁴⁴ J.A. Wheeler, *Information, Physics, Quantum: the Search for Links*, «Proceedings of the 3rd International Symposium Foundations of Quantum Mechanics», Tokyo 1989, pp. 354-368.

costituito da unità indivisibili (idea oggi alla base della gravità quantistica a *loop*).

“It from Bit” non sintetizzava una teoria formalmente elaborata, ma un programma di ricerca. Nel suo articolo del 1989, Wheeler elencava i punti da sviluppare nella ricerca futura, riassumibili nell’obiettivo di ricondurre tanto la meccanica quantistica quanto la relatività generale, e le teorie più avanzate di gravità quantistica come quella delle stringhe, alla teoria dell’informazione, in particolare riscriverle «nel linguaggio dei bit»⁴⁵. Un gran numero di fisici e matematici ha raccolto, negli ultimi trent’anni circa, l’eredità di Wheeler in questo ambito. Gli ambiziosi sviluppi del teletrasporto quantistico, portati avanti in particolare dall’équipe di Anton Zeilinger, e della crittografia quantistica, si fondano su una rilettura dei principali elementi della meccanica quantistica “nel linguaggio dei bit”, appunto⁴⁶.

Seth Lloyd, docente di ingegneria al MIT di Boston, dopo aver ascoltato una conferenza di Wheeler al Santa Fe Institute sul tema “It from Bit”, decise di esplorare questa direzione di ricerca. Lloyd è uno dei pionieri della computazione quantistica, quella branca a cavallo tra fisica e ingegneria informatica che tenta di creare un computer quantistico, la cui caratteristica è la possibilità di sfruttare il principio quantistico della sovrapposizione per aumentare enormemente le capacità di calcolo di un processore: anziché i bit, infatti, il computer quantistico sfrutta i *qubit*, che non sono caratterizzati da una dicotomia antitetica 0-1, ma dalla possibilità di assumere contemporaneamente entrambi gli stati.

Nei suoi studi in questo ambito, Lloyd ha aggiornato l’intuizione di Wheeler passando da “It from Bit” a “It from Qubit” (da *quantum bit*), dizione oggi accolta da tutti gli studiosi impegnati in questo programma di ricerca. Nel suo popolare testo divulgativo *Il programma dell’universo* (2000), Lloyd si è spinto a sostenere l’indistinguibilità di un computer quantistico in grado di simulare l’universo dall’universo in cui viviamo. Mentre un computer digitale tradizionale non è in grado di ottenere una perfetta simulazione dell’universo, dati i limiti della sua capacità di elaborazione dell’informazione, un computer quantistico sarebbe invece «in grado di replicare ogni possibile comportamento di un sistema fisico»; pertanto, secondo Lloyd, «in linea di principio, l’insieme dei componenti dell’universo si può mettere in corrispondenza biunivoca con un numero finito di qubit. Allo stesso modo, la dinamica dell’universo, cioè l’insieme delle interazioni tra i suoi componenti, si può far corrispondere a un insieme di operazioni logiche sugli stessi qubit». La conseguenza è che «una simulazione

⁴⁵ *Ibidem*

⁴⁶ Cfr. A. Zeilinger, *La danza dei fotoni. Da Einstein al teletrasporto quantistico*, Codice, Torino 2015.

dell'universo fatta da un computer quantistico non è distinguibile dall'universo stesso»⁴⁷.

3.3 Il revival del principio olografico alla luce della fisica dell'informazione

Tra i più importanti risultati della fisica dell'informazione a livello cosmologico c'è senza dubbio il recupero del principio olografico nel corso degli anni Novanta, che dalla suggestiva ma poco formalizzata ipotesi di Bohm è oggi assunto a paradigma dominante della fisica teorica, fino a promettere – forse più di ogni altra linea di ricerca contemporanea – la possibilità di conseguire quella auspicata “teoria del tutto” inseguita per decenni dai fisici per ottenere una comprensione unitaria della realtà. Le origini di questo revival risalgono anch'esse agli anni Settanta, quando un allievo di Wheeler, Jacob Bekenstein, scoprì che i buchi neri possiedono entropia. All'epoca si credeva che i buchi neri, “inghiottendo” fatalmente tutta la materia che cade nel loro pozzo gravitazionale senza uscita, potessero ridurre l'entropia complessiva dell'universo, evidente violazione della seconda legge della termodinamica. Bekenstein dimostrò invece che, all'aumentare della quantità di materia che cade in un buco nero, il suo orizzonte degli eventi – ossia il suo confine – aumenta di dimensioni, cosicché aumenta anche l'entropia del buco nero e quella (complessiva) dell'universo.

I calcoli di Bekenstein rivelarono tuttavia una proprietà bizzarra dei buchi neri: la misura della loro entropia, calcolata come la quantità e la distribuzione dell'informazione relativa alla materia inghiottita che essi contengono, non è proporzionale al volume del buco nero, ma all'area della sua superficie, ossia dell'orizzonte degli eventi (nello specifico, a un quarto dell'area della superficie). Si trattava di una scoperta problematica, poiché per la misura dell'entropia di un qualsiasi ambiente delimitato (come il tradizionale esempio di un contenitore di gas) si deve sempre tenere conto del suo volume, non certo dell'area della superficie del contenitore. Nel caso dei buchi neri, l'entropia non è funzione dello spazio tridimensionale (il volume), ma di uno spazio con una dimensione in meno (l'area).

Si dovettero attendere i primi anni Novanta per sviluppare una spiegazione di questa caratteristica dei buchi neri, unendo teoria dell'informazione e principio olografico. In un articolo del 1993 il futuro premio Nobel per la fisica Gerard t'Hooft introdusse per primo il paragone con l'ologramma per spiegare il comportamento dell'entropia dei buchi neri:

⁴⁷ S. Lloyd, *Il programma dell'universo*, Einaudi, Torino 2006, pp. 137-138.

The situation can be compared with a hologram of a three dimensional image on a two-dimensional surface. The image is somewhat blurred because of limitations of the hologram technique, but the blurring is small compared to the uncertainties produced by the usual quantum mechanical fluctuations. The details of the hologram on the surface itself are intricate and contain as much information as is allowed by the finiteness of the wavelength of light - read the Planck length. (...) Apparently one must conclude that a two dimensional surface drawn in a three-space can contain all information concerning the entire three-space. In fact, this should hold for any two-surface that ranges to infinity. This suggests that physical degrees of freedom in three-space are not independent but, if considered at Planckian scale, they must be infinitely correlated⁴⁸.

La conclusione di t'Hooft suggeriva che questa proprietà olografica non fosse esclusiva dei buchi neri, ma condivisa anche da tutti quei volumi delimitati da una superficie bidimensionale tendente all'infinito. Il suo articolo non lo esplicitava, ma t'Hooft stava pensando naturalmente all'universo, il quale è delimitato da un confine di questo tipo, l'orizzonte cosmologico.

Durante una visita a t'Hooft all'Università di Utrecht nel 1994, il fisico e cosmologo Leonard Susskind apprese delle conclusioni del suo articolo e, rientrato a Stanford, elaborò la proposta pubblicata poi in un articolo quello stesso anno col titolo *The World as a Hologram*, nel quale suggerì che il principio olografico potesse essere usato per raggiungere una teoria di gravità quantistica estendendo il caso dei buchi neri all'intero universo⁴⁹. Come ha sintetizzato il giornalista scientifico Jim Baggott: «Susskind went on to speculate that the information content of the entire universe (...) is actually a low energy projection of the information 'encoded' on the universe's cosmic horizon. (...) Reality is actually information stored on the boundary of the universe»⁵⁰. Questa dualità tra un volume tridimensionale e una superficie bidimensionale che lo delimita è possibile, naturalmente, solo nell'ambito della teoria dell'informazione. Quello che t'Hooft e Susskind avevano scoperto è infatti che

l'informazione richiesta per descrivere i fenomeni fisici all'interno di una *qualsiasi* regione dello spazio può essere codificata in modo completo dai dati presenti su una superficie che circonda la regione. (...) La nostra familiare realtà tridimensionale, secondo la proposta di questi audaci pensatori, sarebbe paragonabile a una proiezione olografica di quei distanti processi fisici bidimensionali⁵¹.

⁴⁸ G. t'Hooft, *Dimensional Reduction in Quantum Gravity*, 19 ottobre 1993, arXiv:gr-qc/9310026.

⁴⁹ L. Susskind, *The world as a hologram*, «Journal of Mathematical Physics» vol. 36 n. 11, 1995.

⁵⁰ J. Baggott, *Farewell to Reality*, Pegasus Books, New York 2014, p. 253.

⁵¹ B. Greene, *La realtà nascosta*, Einaudi, Torino 2012, p. 331.

Nel suo articolo, Susskind suggeriva di estendere il principio olografico alla teoria delle stringhe, la principale teoria di gravità quantistica in fase di sviluppo in quegli anni, di cui Susskind era stato uno dei pionieri. Non dovette attendere molto, perché nel 1997 il fisico delle stringhe Juan Maldacena sviluppò quella che oggi è nota come “corrispondenza AdS/CFT” che non solo rappresentava un gigantesco balzo in avanti nella capacità della teoria delle stringhe di descrivere l'universo in cui viviamo, ma consegnava una descrizione olografica dell'universo stesso, perfettamente in linea con le intuizioni di t'Hooft e Susskind (e, dal punto di vista della genealogia delle idee, di Bohm).

In quel periodo la teoria delle stringhe stava vivendo una nuova rivoluzione, dopo aver incontrato uno dei suoi tanti vicoli ciechi: Edward Witten aveva dimostrato che cinque diversi tipi di teoria delle stringhe, apparentemente diversi tra loro, potevano essere considerati manifestazioni di un'unica “teoria madre”, che egli chiamò teoria-M, aggiungendo alle nove dimensioni spaziali in cui tradizionalmente funziona la teoria delle stringhe una decima dimensione⁵². Utilizzando gli strumenti messi a disposizione da Witten, in particolare il concetto di dualità (che permette di considerare due diverse teorie come equivalenti da un punto di vista matematico), Maldacena scoprì che esiste una dualità (o corrispondenza) tra una teoria delle stringhe a basse energie che altro non è se non la tradizionale teoria quantistica dei campi a tre dimensioni spaziali – quella del Modello Standard delle particelle – senza la gravità, e una teoria delle stringhe a dieci dimensioni con la gravità. La prima parte di questa corrispondenza agisce dunque in un numero di dimensioni inferiori alla seconda; Maldacena concluse che la teoria quantistica dei campi agisce sul bordo dell'universo e “proietta” al suo interno, in un volume (*bulk*) a dimensioni superiori, un universo dotato di gravità simile a quello che sperimentiamo⁵³.

La corrispondenza AdS/CFT, in tal modo, consente di rappresentare i due paradigmi della fisica teoria – meccanica quantistica e relatività generale – come equivalenti incorporando la teoria delle stringhe e il principio olografico. Così come, su una piastra olografica, osserviamo solo solchi apparentemente senza senso, che riproducono l'ologramma tridimensionale solo quando la piastra è illuminata dai due fasci laser, poiché tra quei solchi e l'immagine olografica esiste un'equivalenza in termini di informazione, così le due teorie appaiono diversissime ma si rivelano equivalenti se si guarda all'informazione che con-

⁵² Per un'esposizione divulgativa, cfr. *Ivi*, pp. 140-145.

⁵³ J. Maldacena, *The Large-N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity*, «International Journal of Theoretical Physics», vol. 38 n. 4, 1999, pp. 1113-1133. Per un'esposizione divulgativa cfr. Greene, *op. cit.*, pp. 333-340.

tengono. Witten, estendendo la congettura di Maldacena, scoprì per esempio che un buco nero nel *bulk* a dieci dimensioni è equivalente a un plasma di quark e gluoni sul confine dell'universo: sono due fenomeni fisicamente molto diversi, ma sul piano dell'informazione del tutto equivalenti⁵⁴.

4. CONCLUSIONI

In questo articolo si è tentato di dimostrare che la cosiddetta “ipotesi della simulazione”, secondo cui l'universo sarebbe una simulazione virtuale generata da un computer quantistico, è un'idea che si fonda su due concezioni strettamente intrecciate: il principio olografico e la fisica dell'informazione. Il primo, nell'affermare l'esistenza di due diversi “piani della realtà”, e nel suggerire che il piano in cui viviamo sia una sorta di proiezione di informazione codificata sul piano non direttamente esperibile, riporta in auge, all'interno di una cornice scientificamente coerente, il mito della caverna di Platone (seppur, ironicamente, in modo rovesciato: lì infatti erano percepite come reali immagini bidimensionali di una realtà tridimensionale). La seconda, fornendo peraltro al principio olografico una più consistente attrezzatura teorica-matematica, spinge a immaginare l'universo come un gigantesco processore d'informazione, indistinguibile internamente da un computer.

Si è cercato di dimostrare, inoltre, che queste due concezioni hanno influenzato e sono state a loro volte influenzate dalla ricezione della cultura popolare, in particolare del pensiero New Age. Questo processo, peraltro, è ancora in corso, come dimostrano, per limitarsi a un solo esempio, gli studi di Ervin László, eterodosso filosofo della scienza ungherese, che nel suo libro *La scienza e il campo akashico* (2004) utilizza il principio olografico nella versione bohmiiana per sostenere l'esistenza di un campo d'informazione – identificato nel concetto induista di Akasha (già ripreso alla fine dell'Ottocento dalla teosofia) – e di cui l'universo che esperiamo sarebbe la proiezione. László spiega così la sua “teoria delle in-formazioni” (un termine ripreso da Bohm):

Cosa *sono* le in-formazioni? Sono una connessione sottile, quasi istantanea, non evanescente e non energetica tra cose in punti diversi del tempo e dello spazio. Tali connessioni vengono definite “non-locali” nell'ambito delle scienze naturali e “transpersonali” nella ricerca di coscienza. Le in-formazioni collegano le cose (particelle, atomi, molecole, organismi, sistemi ecologici, sistemi solari, intere

⁵⁴ Cfr. E. Witten, *Anti de Sitter space and holography*, «Advances in Theoretical and Mathematical Physics», vol. 2 n. 2, 1998, pp. 253-291.

galassie, oltre alla mente e alla coscienza associati a una o più di queste cose) indipendentemente dalla distanza che c'è tra loro e al tempo trascorso da quando tra loro vennero create le connessioni⁵⁵.

Questo brano mostra la persistenza, al di fuori dell'ambiente scientifico, della proposta bohmiana come spiegazione per la non-località tipica della meccanica quantistica, e il suo aggiornamento alla luce della fisica dell'informazione.

Su questo punto vale la pena segnalare le critiche di quei filosofi della scienza che mettono in dubbio lo statuto ontologico del concetto d'informazione, su cui si basa in ultima analisi la tesi "It from Bit". Riccardo Manzotti, docente di Filosofia teoretica alla IULM di Milano e studioso di filosofia dell'informazione, critica questa visione, espressa per esempio dal filosofo della mente David Chalmers (non a caso uno dei partecipanti all'Asimov Memorial Debate del 2016, convinto assertore dell'ipotesi della simulazione), sostenendo che l'intera ipotesi della simulazione si fonda sull'erronea convinzione che l'informazione possieda una qualche tangibilità fisica, al punto da permettere, attraverso opportuni strumenti, di passare dal *bit* all'*it*, dall'informazione all'oggetto fisico. Scrive Manzotti:

Nel film *The Matrix*, c'è una scena che è rimasta impressa nell'immaginario collettivo ed è stata poi riproposta molte volte in altri film e videogiochi: una cascata di caratteri alfanumerici verdi scorrono sullo schermo e si trasfigurano in una realtà virtuale fatta di colori e forme, totalmente indistinguibile dal nostro mondo reale. Dai caratteri verdi emerge un'avvenente donna bionda in un vestito rosso saturo. Il messaggio è chiaro – l'informazione si può trasformare in un mondo virtuale – ma è un messaggio completamente sbagliato. Questa trasformazione, che viene comunemente ritenuta plausibile, da un punto di vista scientifico non è più accettabile della comparsa del genio della lampada (© Thomas Huxley), o della pietra filosofale o di un'anima immateriale. L'equivoco nasce dal fatto che, quotidianamente, l'informazione viene utilizzata per produrre immagini su schermi o su carta. Ma tale passaggio non è miracoloso. Per ottenere una foto di mio figlio, la stampante ha bisogno di pigmenti e inchiostri fisici, lo schermo del mio tablet deve emettere luci colorate. L'informazione non si trasforma in colori e forme, l'informazione si usa per manipolare il mondo fisico⁵⁶.

Non è questa la sede per discutere della consistenza dell'ipotesi della simulazione, del principio olografico e della fisica dell'informazione; qui si è inteso solo discuterne sul piano della storia delle idee, trattandole come idee connesse

⁵⁵ E. Laszlo, *La scienza e il campo akashico*, Urra, Milano 2009, p. 57.

⁵⁶ R. Manzotti, *Quindi l'Universo esiste davvero?*, «Il Tascabile», 28 giugno 2017.

tra loro e soggette a influenza reciproca, dunque come oggetti di studio neutri, a prescindere dal loro valore epistemologico. Il riferimento di Manzotti a un film tanto influente come *Matrix*, che ha sicuramente contribuito alla popolarità dell'ipotesi della simulazione, mostra come, nello studiare la continua metamorfosi di queste idee, sia fondamentale tenere conto della loro ricezione all'interno della cultura di massa. Il principio olografico, nelle sue prime formulazioni, è rimasto per molto tempo ai margini del dibattito scientifico, mentre il pensiero New Age se ne appropriava; solo piuttosto recentemente l'idea è tornata in auge tra i fisici teorici al punto da diventare un paradigma di successo, continuando al tempo stesso, come si è visto, ad alimentare concezioni pseudoscientifiche o materiale narrativo.

Diventa pertanto sempre più difficile, in questo contesto, tracciare quella linea di demarcazione tra idee scientifiche e idee non-scientifiche cara al pensiero di Karl Popper, in un'epoca in cui le idee espresse dalla fisica teorica contemporanea stanno gradualmente perdendo quelle proprietà che Popper riteneva indispensabili per definirle scientifiche, vale a dire falsificabilità, confutabilità e controllabilità⁵⁷. Diversi autori di recente hanno criticato proprio questa deriva del pensiero scientifico, che alimenterebbe come conseguenza l'appel delle teorie pseudoscientifiche⁵⁸. La proposta che il filone di ricerca inaugurato da David Kaiser (nell'ambito del quale s'inserisce il presente contributo) avanza è che, rinunciando all'ossessione per il problema della demarcazione – oggi molto sentito, in particolare nel dibattito relativo alla diffusione della cosiddetta *misinformation* – sia possibile studiare in modo più oggettivo e valutativo quel ciclo di produzione-ricezione delle idee scientifiche attraverso il filtro della cultura di massa, favorendo peraltro scoperte importanti relativamente al modo in cui alcune idee inizialmente ai margini della ricerca *mainstream*, o travisate dalla cultura di massa, vengono successivamente recuperate, rivelandosi in un secondo momento strumenti fecondi per lo sviluppo del pensiero scientifico.

BIBLIOGRAFIA

- Baggott J., *Farewell to Reality*, Pegasus Books, New York 2014.
 Barrow J.D., *Il libro degli universi*, Mondadori, Milano 2012.
 Beane S.R., Davoudi Z., Savage M.J., *Constraints on the Universe as a Numerical Simulation*, «The European Physical Journal A», vol. 50 n. 148, 2014.

⁵⁷ Cfr. K. Popper, *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna 1972.

⁵⁸ Cfr. Baggott, *op. cit.*; J. Horgan, *La fine della scienza*, Adelphi, Milano 1998; G. Ellis e J. Silk, *Scientific method: Defend the integrity of physics*, «Nature», vol. 516 n. 7531, 2014.

- Bell J.S., *Dicibile e indicibile in meccanica quantistica*, Adelphi, Milano 2010.
- Berzano L., *New Age*, Il Mulino, Bologna 1999.
- Bohm D., *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York 1951.
- Bohm D., *A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden Variables"*, «Physical Review» n. 85, 1952, pp. 166–179.
- Bohm D., *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge, Londra-New York 2002.
- Bostrom N., *Are You Living in a Computer Simulation?*, «Philosophical Quarterly», vol. 53 n. 211, 2003, pp. 243-255.
- Bucchi M., *Scienza e società. Introduzione alla sociologia della scienza*, Raffaello Cortina, Milano 2010.
- Campana R., *Mutare o perire. La sfida del transumanesimo*, Sestante Edizioni, Bergamo 2010.
- Capra F., *Il Tao della fisica*, Adelphi, Milano 2006.
- Ciardi M., *Il mistero degli antichi astronauti*, Carocci, Roma 2017.
- Davis E., *Technognosis*, Ipermedium Libri, Napoli 2001.
- Dick P.K., *La trilogia di Valis*, Fanucci, Roma 2010.
- Dick P.K., *Tempo fuor di sesto*, Fanucci, Roma 2015.
- Dick P.K., *La svastica sul sole*, Fanucci, Roma 2015.
- Dick P.K., *L'Esegesi*, Fanucci, Roma 2015.
- Ellis G., Silk J., *Scientific method: Defend the integrity of physics*, «Nature», vol. 516 n. 7531, 2014.
- Freire Junior O., *The Quantum Dissidents, Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics 1950-1990*, Springer, Heidelberg, 2015.
- Galouye D.F., *Il mondo sul filo (Simulacron-3)*, Atlantide Edizioni, Roma 2016.
- Gates Jr. S.G., *Symbols of Power: Adinkras and the Nature of Reality*, «Physics World», vol. 23 n. 6, 2010, pp. 34-39.
- Gibson W., *Neuromante*, Mondadori, Milano 2003.
- Greene B., *La realtà nascosta*, Einaudi, Torino 2012.
- Halpern P., *I dadi di Einstein e il gatto di Schrödinger*, Raffaello Cortina, Milano 2016.
- Horgan J., *La fine della scienza*, Adelphi, Milano 1998.
- Kaiser D., *Come gli hippie hanno salvato la fisica*, Castelvecchi, Roma 2012.
- Kaiser D., McCray W.P. (a cura di), *Groovy Science. Knowledge, Innovation, and American Counterculture*, The University of Chicago Press, Chicago 2016.
- Krishnamurti J., Bohm D., *Dove il tempo finisce*, Ubaldini Editore, Roma 1986.
- Kriss S., *Tech Billionaires Want to Destroy the Universe*, «The Atlantic», 13 ottobre 2016.
- Kurzweil R., *La singolarità è vicina*, Apogeo, Milano 2008.
- Landauer R., *Irreversibility and heat generation in the computing process*, «IBM Journal of Research and Development», vol. 5, 1961, pp. 183-191.
- Laszlo E., *La scienza e il campo akashico*, Urta, Milano 2009.
- Le Goff J., *Idee, Storia delle*, «Enciclopedia Italiana – V Appendice», Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma 1992.
- Lloyd S., *Il programma dell'universo*, Einaudi, Torino 2006.
- London F., Bauer E., *La théorie de l'observation en mécanique quantique [1939]*, in

- Wheeler J.A., Zurek W.H. (a cura di), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University, Princeton: NJ, 1983, pp. 217–259.
- Maldacena J., *The Large-N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity*, «International Journal of Theoretical Physics», vol. 38 n. 4, 1999, pp. 1113-1133.
- Manzotti R., *Quindi l'Universo esiste davvero?*, «Il Tascabile», 28 giugno 2017.
- McKenna T., McKenna D., *The Invisible Landscape. Mind, Hallucinogens and the I Ching*, HarperCollins, New York 1993.
- Paura R., *Singularity Believers and the New Utopia of Transhumanism*, «Im@go» anno V n. 7, 2016, pp. 23-55.
- Paura R., *L'Universo è una simulazione?*, «Il Tascabile», 23 gennaio 2017.
- Pohl F., *Il tunnel sotto il mondo*, in Asimov I., Greenberg M.H., *Le grandi storie della fantascienza 1955*, vol. 17, Bompiani, Milano 1999.
- Popper K., *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna 1972.
- Pribram K., *Languages of the Brain*, Brandon House, North Hollywood: CA, 1971.
- Pribram K., *Brain and Perception*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah: NJ, 1991.
- Schrödinger E., *Discussion of Probability Relations Between Separated Systems*, «Proceedings of the Cambridge Philosophical Society», vol. 31, 1935, pp. 555–563; vol. 32, 1936, pp. 446–451.
- Seife C., *La scoperta dell'universo. I misteri del cosmo alla luce della teoria dell'informazione*, Bollati Boringhieri, Milano 2011.
- Shannon C., *A Mathematical Theory of Communication*, «Bell System Technical Journal», vol. 27 n. 3, 1948, pp. 379-423.
- Solon O., *Is our world a simulation? Why some scientists say it's more likely than not*, «The Guardian», 11 ottobre 2016.
- Susskind L., *The world as a hologram*, «Journal of Mathematical Physics» vol. 36 n. 11, 1995.
- Talbot M., *Tutto è uno. L'ipotesi della scienza olografica*, Feltrinelli, Milano 2016.
- t'Hooft G., *Dimensional Reduction in Quantum Gravity*, 19 ottobre 1993, arXiv:gr-qc/9310026.
- Von Neumann J., Burks A.W., *Theory of self-reproducing automata*, University of Illinois Press, Urbana 1966.
- Von Neumann J., *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, [1932], Princeton University Press, Princeton: NJ, 1996
- Wheeler J.A., *Information, Physics, Quantum: the Search for Links*, «Proceedings of the 3rd International Symposium Foundations of Quantum Mechanics», Tokyo 1989, pp. 354-368.
- Wiener N., *Introduzione alla cibernetica. L'uso umano degli esseri umani*, Bollati Boringhieri, Milano 2012.
- Witten E., *Anti de Sitter space and holography*, «Advances in Theoretical and Mathematical Physics», vol. 2 n. 2, 1998, pp. 253-291.
- Zeilinger A., *La danza dei fotoni. Da Einstein al teletrasporto quantistico*, Codice, Torino 2015.