

Coesistenza di passato, presente e futuro

dalle scienze della meccanica alle scienze della vita

Antonella Vannini
co-editore di Syntropy

Il presente lavoro ha lo scopo di descrivere l'evoluzione che i concetti di tempo e di causalità hanno subito nel corso dei secoli, tenendo anche conto dell'influenza di questi concetti sulla visione del mondo, della vita e, in ultima analisi, sul modo di fare scienza: le nostre convinzioni sul tempo e la causalità hanno, infatti, delle ricadute importantissime sul modo in cui guardiamo ai fenomeni e sui metodi utilizzati per farlo.

1. La causalità meccanica e l'universo newtoniano

Nel corso del Cinquecento e del Seicento prese l'avvio quel monumentale processo di rivoluzione scientifica che, travolgendo completamente la concezione medievale dell'uomo e del cosmo, determinò la visione del mondo ed il sistema di valori che sono tutt'oggi alla base della nostra cultura. La rivoluzione scientifica ebbe inizio con le osservazioni astronomiche di Niccolò Copernico (1473-1543), che rovesciarono la concezione geocentrica allora diffusa, rappresentata dal sistema aristotelico-tolemaico.¹

Il sistema aristotelico-tolemaico fu enunciato da Aristotele nel IV secolo a.C. e perfezionato da Tolomeo nel II secolo d.C. Secondo questo sistema, la Terra era immobile al centro dell'universo, con il Sole, la Luna, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno che ruotavano attorno ad essa in orbite circolari via via maggiori. Le sfere dei pianeti erano circondate dal cielo delle stelle fisse (un cielo per ogni pianeta), che ruotava grazie

¹ F.Capra, *Il punto di svolta*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 48.

all'impulso del Primo Mobile (il nono cielo, velocissimo e privo di stelle). Il movimento del nono cielo era diretta espressione dell'azione di Dio.

In contrapposizione al sistema aristotelico-tolemaico, il nuovo sistema eliocentrico proposto da Copernico poneva il Sole al centro dell'universo, facendone il centro dei moti di rivoluzione dei pianeti. Il sistema, che rappresentò una grande innovazione in campo astronomico, può essere così schematizzato: partendo dal centro troviamo il Sole attorno a cui ruotano Mercurio, Venere, Terra (attorno alla quale ruota la Luna), Marte, Giove, e Saturno. Le sfere dei vari pianeti, allora conosciuti, erano racchiuse da quella delle stelle fisse, che, secondo Copernico, era immobile.

A Copernico fece seguito Giovanni Keplero (1571-1630), scienziato e mistico che, attraverso un faticoso lavoro sulle tavole astronomiche, poté enunciare le tre leggi del moto planetario, fornendo ulteriore sostegno al modello eliocentrico copernicano.²

Il vero mutamento nell'opinione scientifica, tuttavia, fu opera di Galileo Galilei (1564-1642). Utilizzando il telescopio, di recente invenzione, Galileo si dedicò ad attente osservazioni astronomiche giungendo a togliere ogni credito all'antica cosmologia ed avvalorando l'ipotesi copernicana come teoria scientificamente valida.³ Gli aspetti fondamentali dell'opera di Galileo – la sua impostazione empirica e la descrizione matematica della natura – si posero alla base della nuova scienza del Seicento e rimangono tutt'oggi criteri basilari nelle moderne teorie scientifiche. Il grande contributo offerto da Galileo risiede, infatti, nella combinazione della sperimentazione scientifica con il linguaggio matematico per formulare le leggi della natura da lui scoperte: per questo, egli viene considerato il padre della scienza moderna. Allo scopo di permettere una descrizione matematica della natura, il metodo di Galileo si fondò sullo studio delle proprietà fondamentali dei corpi materiali, quelle che potevano essere misurate e quantificate.

Negli stessi anni in cui Galileo escogitava i suoi ingegnosi esperimenti, Francesco Bacone (1561-1626) formulava esplicitamente il metodo empirico nella scienza.⁴ Bacone giunse ad una formulazione chiara del procedimento induttivo compiendo esperimenti e derivandone conclusioni generali, da verificare in ulteriori esperimenti: egli divenne uno

² Leggi del moto planetario enunciate da Keplero: 1) tutti i pianeti descrivono attorno al Sole delle orbite di forma ellittica. Il Sole occupa uno dei due fuochi, comune a tutte le ellissi; 2) il raggio vettore copre aree uguali in tempi uguali; 3) il quadrato dei periodi di rivoluzione dei pianeti è proporzionale ai cubi dei semiassi maggiori delle loro orbite.

³ Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, a cura di Libero Sosio, Feltrinelli, Milano 1979, pag. 38.

⁴ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 49.

strenuo sostenitore di questo nuovo metodo d'indagine scientifica, attaccando coraggiosamente le scuole di pensiero tradizionali fondate sul *metodo deduttivo* aristotelico. Il metodo deduttivo parte da postulati, verità che non sono soggette a verifica, da cui discendono, attraverso il ragionamento logico (il sillogismo), una serie di conseguenze; al contrario, il *metodo induttivo* proposto da Galileo e Bacone consiste in un processo di astrazione che consente di trovare una regola generale partendo da pochi dati particolari.

Con Galileo e Bacone nasce dunque il *metodo scientifico*, un indirizzo che intende separare l'osservatore dall'oggetto osservato e costruire una prospettiva neutrale per lo sviluppo della conoscenza oggettiva. E' da sottolineare che lo "spirito baconiano" trasformò completamente la natura ed i fini della ricerca scientifica.⁵ Sin dall'Antichità la scienza aveva perseguito la sapienza, la comprensione dell'ordine naturale ed una vita in accordo con esso, e l'atteggiamento dello scienziato era essenzialmente, come diremmo oggi, "ecologico"; da Bacone in poi, il fine della scienza si radica nella ricerca di un controllo sempre più profondo sulla natura e nello sviluppo di una "conoscenza oggettiva" che, nelle parole di Bacone stesso, avrebbe permesso all'uomo di prendere il "comando sulle cose naturali, sui corpi, sulla medicina, sulle forze meccaniche e su infinite altre cose di questo tipo".⁶ In tale visione, lo scopo dello scienziato era dunque quello di "rendere schiava la natura" e di "strapparle con la tortura i suoi segreti": siamo ormai lontani dal concetto antico della "madre terra", ed esso verrà completamente stravolto quando la rivoluzione scientifica sostituirà la concezione organica della natura con la metafora del mondo come macchina ad opera di due delle menti più feconde del Seicento, Cartesio e Newton.

Come Galileo, Cartesio (1596-1650) era convinto che il "libro della natura" fosse scritto in caratteri matematici, ed il suo grande progetto fu di ridurre tutti i fenomeni fisici a rapporti matematici esatti. Egli ridusse tutta la natura a semplici questioni di moto, nelle quali solo lo spazio, la posizione e il movimento avevano importanza: "Datemi posizione e movimento", diceva, "e vi costruirò l'universo".⁷ Tra i maggiori contributi offerti da Cartesio ricordiamo il *metodo analitico di ragionamento*, in base al quale i pensieri e i problemi vengono scomposti in frammenti e disposti nel loro ordine logico. Tale metodo è alla base del moderno pensiero scientifico e si è rivelato utilissimo non solo nello sviluppo delle

⁵ J. Rifkin, *Entropia*, Mondadori, Milano 1982, pag. 29.

⁶ J. Rifkin, *op.cit.*, Mondadori, Milano 1982, pag. 30.

⁷ J. Rifkin, *op.cit.*, Mondadori, Milano 1982, pag. 31.

teorie scientifiche ma anche nella realizzazione di progetti tecnologici complessi. Alla base della concezione cartesiana della natura troviamo il fondamentale dualismo tra due regni indipendenti e separati: quello dello spirito, o *res cogitans*, la “sostanza pensante” e quello della materia, o *res extensa*, la “sostanza estesa”⁸. Questa divisione cartesiana tra spirito e materia ha inciso profondamente nel pensiero occidentale nei secoli successivi a Cartesio conducendo, tra l’altro, all’annoso problema circa i rapporti tra mente e corpo che tuttora infiamma il dibattito scientifico. Secondo Cartesio, tanto la materia quanto lo spirito erano creazioni di Dio, inteso quale fonte dell’ordine naturale esatto e origine della luce della ragione che consentiva alla mente umana di riconoscere tale ordine; nei secoli successivi, però, tale riferimento a Dio venne tralasciato dagli scienziati che svilupparono le loro teorie seguendo la divisione cartesiana: le scienze umanistiche si concentrarono sulla *res cogitans* e le scienze naturali sulla *res extensa*. L’universo materiale era per Cartesio una macchina priva di qualsiasi intenzionalità o spiritualità; la natura funzionava secondo leggi meccaniche ed ogni cosa, nel mondo materiale, poteva essere spiegata in funzione della disposizione e del movimento delle sue parti. Questa concezione meccanicistica della materia fu estesa da Cartesio anche agli organismi viventi, nel tentativo di formulare una scienza naturale completa: piante e animali erano considerati semplicemente come macchine, mentre gli esseri umani erano “abitati” da un’anima razionale (*res cogitans*) collegata con il corpo (*res extensa*) attraverso la ghiandola pineale, al centro del cervello. Il corpo umano, dal canto suo, era indistinguibile da un animale-macchina. Questa visione profondamente meccanicista della natura fu ispirata a Cartesio anche dall’alta precisione e tecnologia cui era giunta, al suo tempo, l’arte della costruzione degli orologi: Cartesio comparò gli animali a un “orologio...composto...da ruote e molle” ed estese questa comparazione al corpo umano, al punto da assimilare un corpo malato ad un orologio mal costruito e, viceversa, un corpo sano ad un orologio ben costruito e perfettamente funzionante.

La rivoluzione scientifica fu coronata dall’opera di Isacco Newton (1642-1728), che scoprì il metodo matematico per descrivere il moto meccanico, giungendo così ad una grande sintesi delle opere di Copernico, Keplero, Bacon, Galileo e Cartesio⁹. Keplero aveva derivato le leggi empiriche dei moti planetari studiando le tavole astronomiche, e Galileo aveva scoperto le leggi dei corpi in caduta: Newton combinò questi risultati

⁸ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 52.

⁹ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 55.

formulando le leggi generali del moto che governano tutti gli oggetti nel sistema solare, dalle pietre ai pianeti. Resosi conto che ogni oggetto veniva attratto verso la Terra dalla medesima forza che attraeva i pianeti verso il Sole, Newton introdusse i concetti di inerzia centripeta e di forza di gravità, pervenendo poi alle famose tre leggi del moto:

1. legge di inerzia (già formulata da Leonardo da Vinci e successivamente da Galileo): afferma che un corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non interviene una forza dall'esterno a modificarlo;
2. legge di proporzionalità tra forza e accelerazione: questa legge pone strettamente in relazione la forza agente su un corpo con la sua massa e con l'accelerazione a questo impressa, secondo la relazione: $F = ma$;
3. leggi di azione e reazione: afferma che ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.

L'importanza di tali leggi risiede nella loro universalità: si trovò, infatti, che esse sono valide in tutto il sistema solare e ciò apparve come una conferma del modello meccanicista della natura proposto da Cartesio. Nel 1686 Newton presentò la sua concezione completa della natura e del mondo nei *Philosophiae naturalis principia mathematica (Principi matematici della filosofia naturale)*: quest'opera comprende un vasto sistema di definizioni, proposizioni e dimostrazioni che, per più di duecento anni, vennero considerate la descrizione più esauriente del mondo della natura. Nei Principia Newton enuncia anche il metodo sperimentale da lui adottato e che nasce da una fortunata combinazione dei due metodi adottati fino a quel momento: il metodo empirico-induttivo di Bacone ed il metodo razionale-deduttivo di Cartesio. Infatti, Newton dichiara che non solo gli esperimenti devono fondarsi su un'interpretazione sistematica dei fenomeni, ma anche la deduzione da principi primi deve essere corroborata da prove sperimentali: in assenza di questi requisiti non è possibile giungere alla formulazione di teorie scientificamente valide. Con questo, Newton consacrò definitivamente il trionfo di quel metodo sperimentale sul quale si è fondata da allora la scienza della natura.

L'universo newtoniano nel quale avevano luogo i fenomeni fisici era lo *spazio tridimensionale* della geometria classica euclidea, uno spazio vuoto indipendente dai fenomeni che si manifestano in esso. Ogni mutamento nello spazio fisico veniva descritto in relazione ad una dimensione separata, *il tempo assoluto* e privo di qualsiasi

connessione con il mondo materiale: esso fluiva ininterrottamente dal passato al futuro, attraverso il presente.¹⁰ In questo spazio ed in questo tempo assoluti si muovevano delle particelle materiali, piccoli oggetti solidi e indistruttibili di cui era composta tutta la materia, che Newton supponeva sostanzialmente omogenea: egli spiegava la differenza fra i vari tipi di materia non facendo riferimento ad atomi di peso o densità diversi ma in funzione di aggregazioni più o meno dense di atomi¹¹.

Nella meccanica newtoniana tutti i fenomeni fisici si riducono al moto di queste particelle elementari causato dalla loro attrazione reciproca, ossia dalla forza di gravità. L'effetto della forza di gravità su una particella o su un qualsiasi oggetto materiale è descritto matematicamente dalle equazioni del moto di Newton, che formano la base della meccanica classica. Per quanto concerne l'indagine empirica di questo universo, essa si arrestava dinnanzi alla natura delle particelle stesse e della forza di gravità: tanto le une quanto l'altra erano creazioni di Dio e come tali sfuggivano ad un'analisi più approfondita.

Nell'*Opticks*, Newton fornì una chiara descrizione di come immaginava la creazione del mondo materiale ad opera di Dio:

Mi sembra probabile che Dio al principio abbia creato la materia sotto forma di particelle solide, compatte, dure, impenetrabili e mobili, dotate di tali dimensioni e figura, e di tali proprietà e di tali proporzioni rispetto allo spazio, da essere le più adatte per il fine per il quale egli le aveva create; e che queste particelle originarie, essendo solide, siano incomparabilmente più dure di qualsiasi corpo poroso da esse composto; anzi tanto perfettamente dure, da non poter mai consumarsi o infrangersi: nessuna forza comune essendo in grado di dividere ciò che Dio, al momento della creazione, ha fatto uno.¹²

Da quanto descritto finora emerge chiaramente l'immagine di una gigantesca macchina cosmica interamente governata da meccanismi causali: tutto ciò che accadeva nasceva da una causa ben precisa ed originava effetti determinati e matematicamente prevedibili, ed il futuro di ogni parte del sistema poteva essere "calcolato" con assoluta certezza purché se ne conoscesse lo stato in un tempo dato. L'Ottocento ed il Settecento utilizzarono la macchina newtoniana per spiegare fin nei minimi particolari il moto dei pianeti, dei satelliti e delle comete, oltre alle maree e a molti altri fenomeni connessi con la gravità. Infine, tale modello travalicò i confini dell'astronomia, e venne applicato allo studio

¹⁰ I. Newton, *Principi matematici della filosofia naturale*, a cura di A. Pala, UTET, Torino 1965.

¹¹ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 57.

¹² I. Newton, *Scritti di ottica*, a cura di A. Pala, UTET, Torino 1978, libro III, parte I, qu. 31, pag. 600.

di processi quali il comportamento di solidi, liquidi e gas, compresi i fenomeni del calore e del suono spiegati in funzione del moto di particelle materiali elementari¹³.

2. La termodinamica: il principio dell'entropia e la morte termica

Nel XIX secolo, l'applicazione della meccanica newtoniana allo studio dei fenomeni termici condusse alla nascita di una nuova branca della fisica: la termodinamica. Questa disciplina, nata dallo sforzo speculativo di studiosi quali Boyle, Boltzman, Clasius e Carnot, si occupa dello studio dell'energia, della quale il calore è una forma. In particolare, vengono analizzati i gas e le loro trasformazioni, che si pongono alla base delle cosiddette macchine termiche, apparati costruiti per convertire calore in movimento, energia in lavoro.

La termodinamica si fonda essenzialmente su tre principi¹⁴:

1. il primo principio, noto come principio di conservazione dell'energia, afferma che l'energia non può essere né creata né distrutta, ma che può essere solo trasformata;
2. il secondo principio, o principio dell'entropia, afferma che in ogni trasformazione di energia (ad esempio trasformando il calore in lavoro), una parte di energia si libera nell'ambiente. L'entropia è la grandezza con cui si misura la quantità di energia che si è liberata nell'ambiente. Quando l'energia liberata nell'ambiente è distribuita in modo uniforme (ad esempio non vi sono più variazioni di calore) si raggiunge uno stato di equilibrio e non è più possibile trasformare l'energia in lavoro. L'entropia misura quanto un sistema sia vicino allo stato di equilibrio e quale sia quindi il grado di disordine del sistema stesso;
3. il terzo principio afferma che l'entropia, cioè il disordine, di un sistema isolato non può diminuire. Pertanto, quando un sistema isolato raggiunge una configurazione di massima entropia non può subire ulteriori trasformazioni: ha raggiunto l'equilibrio, o morte termica.

Il principio dell'entropia (o secondo principio della termodinamica) è particolarmente significativo in quanto introduce in fisica l'idea di processi irreversibili. L'irreversibilità si

¹³ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 58.

¹⁴ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pagg. 62 e ss.

riferisce al fenomeno per cui l'energia si sposta sempre da uno stato di disponibilità ad uno stato di non disponibilità, nel quale essa si è ormai completamente dissipata nell'ambiente e non è più "recuperabile". A questo proposito, l'eminente fisico Sir Arthur Eddington (1882-1944) afferma che "*l'entropia è la freccia del tempo*"¹⁵, nel senso che essa obbliga gli eventi fisici a muoversi dal passato verso il futuro, cioè da una situazione di disponibilità di energia ad un'altra in cui l'energia non è più disponibile. La nostra coscienza registra continuamente le variazioni di entropia che avvengono nel mondo attorno a noi: vediamo i nostri amici diventare vecchi e morire; quando ci sediamo vicino a un fuoco vediamo che le braci roventi si trasformano pian piano in ceneri bianche e fredde; ci accorgiamo che il mondo attorno a noi si modifica in continuazione e tutto ciò non è che la manifestazione della seconda legge. È il processo irreversibile della dissipazione di energia del mondo.

Il termine irreversibilità si riferisce quindi al fatto che in tutti i fenomeni fisici sarebbe presente una certa tendenza dall'ordine al disordine, senza possibilità di ritornare allo stato originario nel quale l'energia era tutta disponibile: ad esempio, l'energia meccanica si dissipa in calore e non può essere mai recuperata completamente; ancora, se mescoliamo assieme acqua calda e acqua fredda otterremo acqua tiepida, ma non vedremo mai i due liquidi separarsi spontaneamente.

Il terzo principio della termodinamica deriva come conseguenza logica dal secondo principio: dal momento che la dissipazione di energia è un processo irreversibile (nel senso che l'energia dissipata non potrà mai essere recuperata e riutilizzata), l'entropia di un sistema isolato (ossia chiuso rispetto a qualsiasi informazione proveniente dall'esterno) non potrà fare altro che aumentare, fino al raggiungimento dell'equilibrio termico (o morte termica).

Il termine "entropia" fu introdotto nella metà dell'Ottocento da Rudolf Clausius, impegnato nella ricerca di una forma matematica precisa che descrivesse questa direzione dell'evoluzione dei sistemi fisici; il vocabolo nasce da una combinazione di "energia" e "tropos", termine greco che significa trasformazione o evoluzione: l'entropia è quindi una quantità che misura il grado di evoluzione di un sistema fisico ma, al contempo, può essere intesa anche come una misura del "disordine", visto che l'evoluzione di un sistema fisico isolato è accompagnata sempre da un disordine

¹⁵ A. Eddington, *The Nature of the Physical world*, Ann Arbor Paperbacks, University of Michigan Press, Ann Arbor 1958.

crescente¹⁶.

Come abbiamo visto, il principio dell'entropia afferma che un sistema fisico isolato procede spontaneamente in direzione di un disordine ed una omogeneità crescenti, raggiungendo infine la morte termica. Tuttavia, questa ferrea legge sembra puntualmente contraddetta dal fenomeno della vita: i sistemi viventi, anziché tendere all'omogeneità e al disordine, si evolvono verso forme di organizzazione sempre più complesse e sono in grado, tra l'altro, di mantenersi lontani dalla morte termica.

Jacques Monod cercò di spiegare la vita come il risultato di condizioni iniziali improbabili. Con questo espediente logico si rendeva l'apparire della vita compatibile con il principio dell'entropia, ma il suo mantenimento sembrava una lotta continua contro le leggi della fisica, che rendevano altamente improbabile la sua esistenza. L'entropia ammette infatti un solo tipo di evoluzione: la scomparsa di ogni attività macroscopica e di ogni organizzazione. La biologia ha perciò fondato la spiegazione del funzionamento dell'essere vivente sull'impressionante serie di eventi improbabili costituiti dalla comparsa del codice genetico e dalle mutazioni favorevoli, e sull'evoluzione prevedibile verso la morte e l'inattività macroscopica: un universo estraneo alla vita, retto da leggi che la ignorano e in cui noi non siamo altro che incidenti. Jacques Monod usò queste parole per descrivere la visione che nasce dall'entropia: *"l'uomo deve infine distarsi dal suo sogno millenario per scoprire la sua completa solitudine, la sua assoluta stranezza. Egli ora sa che, come uno zingaro, si trova ai margini dell'universo in cui deve vivere. Universo sordo alla sua musica, indifferente alle sue speranze, alle sue sofferenze, ai suoi crimini."*¹⁷

3. Einstein e la relatività del tempo

In due articoli del 1905 Einstein diede l'avvio a due tendenze rivoluzionarie nel pensiero scientifico: una fu la sua teoria della relatività ristretta; l'altra fu un modo nuovo di considerare la radiazione elettromagnetica, che diventerà tipico di un'altra grande teoria della fisica moderna, la teoria quantistica dei fenomeni atomici.

¹⁶ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 63.

¹⁷ J. Monod, *Il caso e la necessità*, Oscar Mondadori, Milano 1974.

Prima dei lavori di Albert Einstein si riteneva che il tempo fosse assoluto e che la velocità fosse invece relativa. Questa concezione era nota come relatività di Galileo¹⁸ e per descriverla Galileo era solito fare l'esempio della nave in movimento: se un marinaio spara un colpo nella direzione in cui si muove la nave, la velocità della pallottola si sommerà alla velocità della nave stessa, e il marinaio vedrà la pallottola muoversi alla velocità dello sparo; contemporaneamente, una persona ferma in riva al mare, vedrà la pallottola muoversi alla velocità dello sparo più la velocità della nave, poiché al moto della pallottola vedrà aggiungersi quello della nave.

Tuttavia, alla fine dell'ottocento Maxwell si trovò avanti ad una serie di contraddizioni. Gli esperimenti sull'elettromagnetismo mostravano che la velocità della luce non si somma al moto del corpo che la emette e all'inizio del Novecento Michelson e Moreley¹⁹ dimostrarono in modo certo che la velocità della luce è una costante, cioè non si somma in nessun modo alla velocità del corpo che la emette. Inoltre, le indagini teoriche profondamente innovatrici di H.A. Lorentz sui fenomeni elettrodinamici e ottici nei corpi in movimento, avevano dimostrato che le esperienze in questi campi conducono in modo inequivocabile a una teoria dei fenomeni elettromagnetici che ha per conseguenza necessaria la legge della costanza della velocità della luce nel vuoto.²⁰

Analizzando i risultati ottenuti da Michelson, Moreley e Lorentz, Einstein si trovò nella necessità di ribaltare la situazione descritta dalla relatività galileiana secondo la quale il tempo è assoluto e la velocità è relativa: infatti, per poter descrivere matematicamente il fatto che la velocità della luce è costante era necessario accettare la relatività del tempo. Per spiegare questa affermazione immaginiamo, dopo 500 anni, un marinaio su di una nave spaziale velocissima che è diretta verso la Terra. Questo marinaio spara con la sua pistola laser un raggio di luce nella direzione in cui si muove la nave. Noi, sulla Terra, vedremo questo fascio di luce muoversi a 300 mila chilometri al secondo, ma anche il marinaio vedrà lo stesso fascio di luce muoversi a 300 mila chilometri al secondo. La cosa strana è che, poiché la sua nave spaziale si muove velocissima, prossima alla velocità della luce, egli dovrebbe vedere la luce del laser muoversi alla velocità della luce meno la velocità della nave spaziale, e non certo ad una velocità costante.

¹⁸ A. Einstein, *Relatività: esposizione divulgativa*, Universale Bollati Boringhieri, Torino 1996, pag. 53.

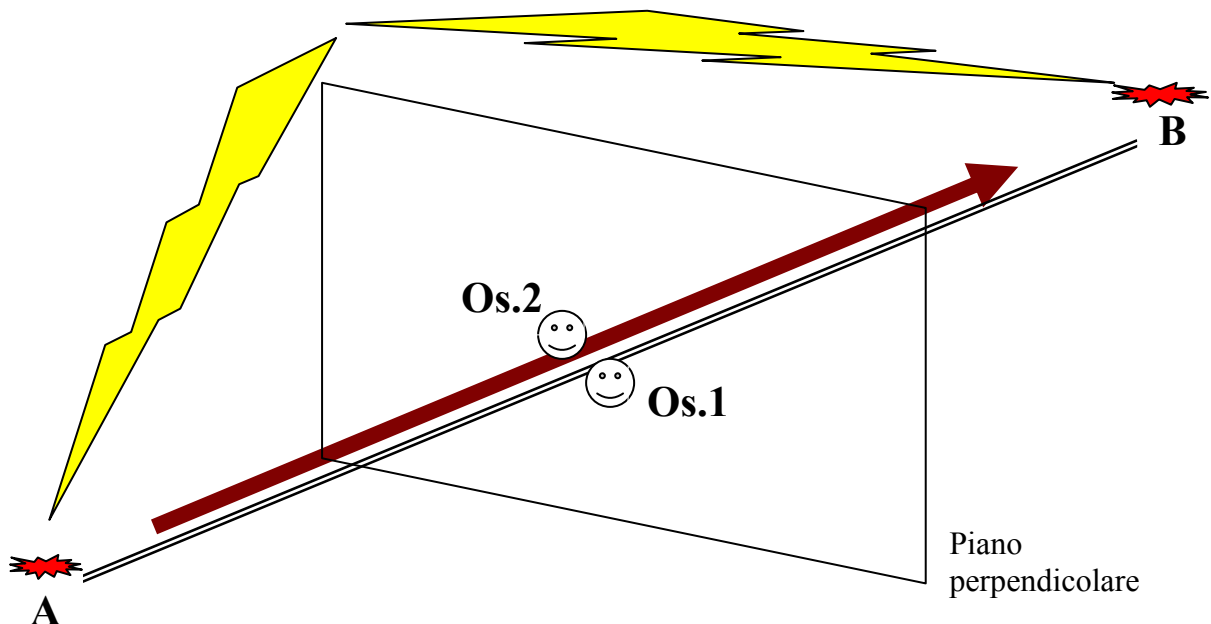
¹⁹ A. Einstein, *op.cit.*, Universale Bollati Boringhieri, Torino 1996, pag. 85.

²⁰ A. Einstein, *op.cit.*, Universale Bollati Boringhieri, Torino 1996, pag. 57.

Studiando le contraddizioni che Maxwell, Michelson e Moreley avevano mostrato, Einstein arrivò a dimostrare che nel momento in cui ci muoviamo nella direzione della luce, il nostro tempo rallenta in proporzione e per noi la luce continua perciò a muoversi sempre a 300 mila chilometri al secondo. Questo fatto comporta che, se arrivassimo in prossimità della velocità della luce, il nostro tempo rallenterebbe fino a fermarsi e che, se fossimo in grado di superare la velocità della luce, il nostro tempo si invertirebbe e comincerebbe a fluire all'indietro.

In altre parole, gli eventi che accadono nella direzione verso cui ci muoviamo diventano più veloci, perché il nostro tempo rallenta, mentre gli eventi dai quali ci allontaniamo diventano più lenti perché il nostro tempo accelera.

Per chiarire questa situazione, Einstein riporta l'esempio di un fulmine che colpisce una lunga ferrovia simultaneamente in due punti A e B molto lontani tra loro²¹. Un primo osservatore (inteso, in quest'ambito, come un rilevatore oggettivo di eventi) fermo su una panchina a metà strada tra i due punti colpiti, vedrà i due colpi di fulmine cadere simultaneamente sulle rotaie. Immaginiamo a questo punto un secondo osservatore su un treno velocissimo che si muova da A verso B:



nell'istante in cui il lampo colpisce le rotaie, questo osservatore si trova a passare esattamente accanto all'osservatore seduto sulla panchina; ebbene, per l'osservatore sul treno, l'evento del lampo che colpisce il punto B è un evento già accaduto, mentre per

²¹ A. Einstein, *op.cit.*, Universale Bollati Boringhieri, Torino 1996, pag. 58.

l'osservatore seduto sulla panchina sta accadendo in quel momento; al contrario, il lampo che colpisce il punto A è, per il secondo osservatore, un evento che deve ancora accadere, mentre per l'osservatore seduto sulla panchina sta accadendo in quel momento; da ciò deriva necessariamente che i due osservatori, pur trovandosi nello stesso punto dello spazio al momento dell'evento, non possano raggiungere un accordo sulla contemporaneità dell'evento stesso, in quanto il concetto di contemporaneità degli eventi sarà necessariamente legato alla condizione di moto dell'osservatore.

In altre parole, gli eventi che accadono nella direzione verso cui ci muoviamo diventano più veloci, perché il nostro tempo rallenta; ma gli eventi che accadono nella direzione opposta a quella del nostro moto sono più lenti, poiché in quella direzione il nostro tempo si accelera. Insomma, il tempo scorre in modo diverso a seconda che l'evento avvenga nella direzione in cui ci muoviamo o nella direzione dalla quale ci allontaniamo: nel primo caso gli eventi sono più rapidi, nel secondo caso sono più lenti.

L'esempio appena riportato tiene conto di solo due osservatori dello stesso evento: ma cosa accade nel momento in cui ci sono più osservatori che si muovono ognuno in una direzione diversa e a velocità elevata? La prima coppia di osservatori (uno fermo sulla panchina e l'altro sul treno velocissimo) raggiungerà un accordo sulla contemporaneità per tutti quegli eventi che accadono sul piano perpendicolare al movimento del treno; inserendo un terzo osservatore che si muove in un'altra direzione ma che nell'istante dell'evento passa accanto agli altri due osservatori, si potrà raggiungere un accordo di contemporaneità solo per quegli eventi che accadono sulla retta che unisce i due piani perpendicolari al moto; inserendo un quarto osservatore, l'accordo si potrà raggiungere solo per un punto; inserendo, infine, un quinto osservatore che, per di più, in quell'istante non passa accanto agli altri osservatori, non si potrà raggiungere alcun accordo di contemporaneità: di conseguenza, se per noi è reale solo ciò che accade in quel momento, si giungerà al venir meno dell'accordo circa l'esistenza della realtà²² stessa. A questo punto, per poter ristabilire il principio di realtà (ossia l'accordo reciproco tra gli osservatori relativamente a ciò che è reale), che è alla base di qualsiasi indagine scientifica²³, siamo costretti ad accettare come reali e copresenti eventi per noi futuri o

²² In *Conferenze Scelte* di Luigi Fantappiè, di Renzo Editore, Roma 1993, pag. 67 leggiamo che "con la teoria della relatività, assieme alla nozione obiettiva di contemporaneità, viene necessariamente a cadere anche la nozione obiettiva di esistenza, almeno come s'intende abitualmente, poiché uno stesso evento potrebbe essere insieme esistente per un osservatore e non esistente per un altro, anche coincidente a un certo istante col primo, ma in moto rispetto a questo".

²³ M. Olivetti Belardinelli, *La costruzione della realtà*, Bollati Boringhieri Editore, Torino 1991.

passati ma contemporanei per altri osservatori. Da ciò deriva che una necessaria conseguenza della teoria della relatività ristretta, è la coesistenza di passato, presente e futuro²⁴.

Einstein stesso ebbe difficoltà ad accettare questa conseguenza della teoria della relatività²⁵, in cui passato, presente e futuro coesistono. Il modello della relatività ristretta venne successivamente perfezionato da Minkowski²⁶, il quale usò il termine di “cronotopo” per descrivere l'unione dello spazio con il tempo. Da quando Einstein ha presentato la teoria della relatività il tempo è diventato una dimensione dello spazio: lo spazio non ha più 3 dimensioni, ma quattro, e come possiamo muoverci nello spazio, così possiamo muoverci nel tempo.

Un'altra importante conseguenza del nuovo sistema relativistico è stata la presa di coscienza che la massa non è altro che una forma di energia, al punto che persino un oggetto in quiete ha dell'energia immagazzinata nella sua massa. La relazione tra la massa e l'energia è data dalla famosa equazione di Einstein $E=mc^2$, dove c è la velocità della luce ed m la massa. L'equivalenza tra massa ed energia ha aperto la strada allo studio della fisica quantistica, nella quale la massa non è più associata ad una sostanza materiale, ma è vista come un *fascio di energia*. In particolare, le particelle della nuova fisica vengono ovviamente considerate in termini “relativistici”, ossia in funzione di un sistema di riferimento in cui spazio e tempo sono fusi insieme in un continuo quadridimensionale. Da ciò discende che le particelle atomiche vanno intese dinamicamente, come forme nello spazio e nel tempo: il loro aspetto spaziale le fa apparire come oggetti aventi una certa massa, mentre il loro aspetto temporale ce le presenta come processi implicanti l'energia equivalente. L'esito finale di questi concetti è che, dalla relatività in poi, l'essere della materia e la sua attività sono due aspetti non più separabili: essi non sono altro che aspetti diversi della stessa realtà spazio-temporale.

Nel 1915 Einstein propose il suo modello della “relatività generale”, nel quale la teoria della relatività ristretta viene ampliata fino a comprendervi anche la forza di gravità.

²⁴ A tal riguardo consigliamo di leggere la spiegazione dettagliata riportata da Luigi Fantappiè in *Conferenze Scelte*, Di Renzo Editore, Roma 1993, pag. 59 e ss.

²⁵ F. Capra, *op.cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 67.

²⁶ G. e S. Arcidiacono, *Entropia, Sintropia e Informazione*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 19 e ss.

4. La supercausalità

Il concetto di antimateria risale al 1928 quando Paul Dirac trovò la sua famosa equazione relativistica dell'elettrone²⁷. Dirac notò che tale equazione ammetteva due possibili tipi di soluzioni: quella degli elettroni con energia negativa (o dei potenziali²⁸ ritardati, nei quali la causa è collocata nel passato e le onde divergono) e quella degli elettroni con energia positiva (o dei potenziali anticipati, nei quali la causa è collocata nel futuro e le onde convergono). L'unico modo per interpretare le soluzioni dei potenziali anticipati era di ammettere l'esistenza di particelle «speculari» all'elettrone: i positroni. Queste particelle erano identiche agli elettroni, ma con carica energetica e flusso del tempo invertiti: invece di muoversi dal passato verso il futuro si muovono dal futuro verso il passato. L'esistenza del positrone fu confermata nel giro di un paio d'anni, quando ne venne definitivamente provata l'esistenza negli sciami di raggi cosmici. Oggi sappiamo che in natura a qualunque tipo di particella subatomica corrisponde un'antiparticella speculare che si muove dal futuro verso il passato. Oltre agli anti-elettroni (positroni) ci sono gli anti-protoni, gli anti-neutroni e così via. Feynman²⁹ nel 1949, grazie ai suoi famosi diagrammi, arrivò ad una importante generalizzazione che può essere sintetizzata dicendo che tutte le particelle si muovono dal passato verso il futuro, mentre tutte le antiparticelle si muovono dal futuro verso il passato.

Nella rassegna "Fractals of brain, fractals of mind"³⁰, Chris King propone l'articolo "Fractal Neurodynamics and Quantum Chaos", nel quale presenta il modello della "supercausalità"³¹. Il punto di partenza di King è l'equazione relativistica energia/momento:

$$e^2 = p^2 + m^2$$

questa equazione, nella quale e corrisponde all'energia, mostra che per trovare il valore dell'energia si deve risolvere una radice quadrata ottenendo così due soluzioni:

²⁷ G. e S. Arcidiacono, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 29.

²⁸ Per "potenziale" si intende una concentrazione di energia che può dissiparsi sia dal passato verso il futuro (potenziali ritardati) che dal futuro verso il passato (potenziali anticipati).

²⁹ R.P. Feynman, *Theory of positron*, Phys. Rev. 76, 749, 1949.

³⁰ E.R. Mac Cormac, M.I. Stamenov, *Fractals of Brain, fractals of mind*, in *Advances in consciousness research*, Vol.7, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam 1996. L'articolo può essere consultato anche all'indirizzo: <http://www.math.auckland.ac.nz/~king/Preprints/paps/consc/brcons2.htm>

³¹ Questo modello era già stato presentato da King nel 1989 in: King C.C., *Dual-time supercausality*, Phys. Essays 2, 128 – 151.

- la prima, $+e = +\sqrt{(p^2+m^2)}$, a segno positivo, corrisponde alla soluzione nella quale l'energia è positiva e il tempo fluisce nel verso a noi usuale, dal passato al futuro;
- la seconda, $-e = -\sqrt{(p^2+m^2)}$, a segno negativo, corrisponde alla soluzione in cui l'energia è inversa e anche la freccia del tempo si inverte, cioè scorre dal futuro verso il passato.

Le radici quadrate hanno sempre due soluzioni, una positiva e una negativa: ciò conduce ad affermare l'esistenza sia dell'energia positiva, che dell'energia negativa. Se inseriamo l'energia negativa nella nota formula di Einstein $E=mc^2$, otteniamo materia negativa. Einstein aveva dimostrato che la materia positiva può tendere alla velocità della luce, ma non può raggiungerla; al contrario, la materia negativa può muoversi solo ad una velocità maggiore di quella della luce, scorrendo, in base agli assunti della relatività, dal futuro verso il passato: quest'ultimo fenomeno, in particolare, è noto come *inversione della freccia del tempo*. Dalla fisica quantistica nasce in questo modo la descrizione di un universo simmetrico relativamente al verso del tempo³²: da una parte esiste materia che si muove dal passato verso il futuro, dall'altra anti-materia che si muove dal futuro verso il passato.

Queste affermazioni hanno avuto la loro prima dimostrazione con la scoperta, da parte di Dirac, dell'anti-particella dell'elettrone, ossia il positrone; successivamente, Feynman dimostrò l'esistenza delle anti-particelle in generale, mentre Donald Ross Hamilton dimostrò che per ogni emettitore di luce deve esistere un assorbitore, per il quale il verso del tempo è invertito. A questo proposito, King sottolinea anche il contributo di J.G. Cramer³³, il quale mostra come l'incontro tra emettitori e assorbitori sia utilizzato nella meccanica quantistica per descrivere la creazione del fotone che diventa in questo modo il risultato dell'interazione tra passato e futuro, tra onde divergenti e onde convergenti³⁴. Questa ormai comprovata interazione costante tra passato e futuro crea un paradosso insolubile in termini di determinismo temporale³⁵: come mostrato anche da Penrose³⁶, la descrizione spazio-temporale emergente da questi dati è incompatibile con il concetto usuale di causalità e di determinismo.

³² G. e S. Arcidiacono, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 27.

³³ J.G. Cramer, *The transactional interpretation of quantum mechanics*, Rev. Mod. Phys. 58, 647 – 687.

³⁴ Si veda anche P. Davies, *The Physics of Time Asymmetry*, Surrey Press, 1974.

³⁵ Si veda, ad esempio, l'esperimento condotto da A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger nel 1982 e riportato in *Experimental tests of Bell's theorem using time-varying analysers*, Phys. Rev. Lett. 49, 1804.

³⁶ R.Penrose, C. Isham, *Quantum Concepts in Space & Time*, Oxford University Press.1989.

La coesistenza di cause provenienti dal passato e di cause provenienti dal futuro viene da King indicata come "modello della supercausalità". In questo modello, King utilizza il concetto dell'inversione della freccia del tempo per descrivere le strutture cerebrali. Secondo King queste strutture si trovano costantemente di fronte a biforcazioni generate dall'incontro tra informazioni che provengono dal passato (onde divergenti, cause) e informazioni che provengono dal futuro (onde convergenti, attrattori). In ogni momento le strutture cerebrali devono decidere quale strada, quale biforcazione, seguire. Secondo King, da questa attività costante di scelta, da questo indeterminismo di base, nasce l'apprendimento, il libero arbitrio e la coscienza.

5. Il ruolo dell'informazione: l'osservatore booleano

Ad ulteriore conferma dell'esistenza della supercausalità, discendente dalla simmetria nel verso del tempo, Giuseppe e Salvatore Arcidiacono sottolineano che l'equazione delle onde della "meccanica ondulatoria"³⁷ ammette due tipi di soluzioni: le onde divergenti da una sorgente (posta nel passato) e quelle convergenti verso una sorgente (posta nel futuro)³⁸. E' quindi possibile affermare che, oltre alla causalità meccanica, esiste anche un altro tipo di causalità che Giuseppe e Salvatore Arcidiacono chiamano *causalità finale*. Da queste considerazioni si arriva a descrivere la vita non più come un fenomeno lineare bensì circolare, fatto che implica sia la causalità che la finalit ³⁹. Ci  significa che la vita   costante interazione tra cause poste nel passato (onde divergenti) e cause poste nel futuro (onde convergenti), ed entrambe queste fonti influenzano gli organismi viventi: nelle fasi di sviluppo l'interrogativo se siano le cellule a determinare i tessuti o viceversa si risolve, infatti, solo ammettendo entrambe le alternative. Ci  consente di considerare l'individuo non solo simile ad una macchina (espressione di cause poste nel passato), ma anche dotato di pensiero inventivo (principio di finalit  o cause poste nel futuro). Secondo P. Davies⁴⁰, per secoli la scienza   stata dominata dal paradigma newtoniano e da quello termodinamico, secondo il quale l'universo   una macchina che tende a degradarsi. E'

³⁷ La meccanica ondulatoria   quella branca della fisica che studia la propagazione delle onde.

³⁸ G. e S. Arcidiacono, *op. cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991.

³⁹ G. e S. Arcidiacono, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 82.

⁴⁰ P. Davies, *Il cosmo intelligente*, Mondadori, Milano 1989, pag. 10.

ora giunto il momento di parlare di un universo “creativo” che riconosce il carattere progressivo ed innovativo dei processi naturali.

In sintesi, Giuseppe e Salvatore Arcidiacono sottolineano che i sistemi viventi si trovano in uno stato costante di scelta booleana⁴¹ tra le informazioni provenienti dal passato e le informazioni provenienti dal futuro. Questo stato continuo di scelta genera i processi di apprendimento e di crescita.

Vari autori hanno evidenziato che l'informazione costituisce una delle caratteristiche fondamentali degli attrattori (le cause collocate nel futuro) e all'informazione molti autori collegano la capacità di ridurre l'entropia. L'esempio classico che descrive la capacità dell'informazione di ridurre l'entropia di un qualsiasi sistema è quello dei computer: il primo computer Eniac realizzava pochi calcoli con consumi paragonabili a quelli di una cittadina media di 30.000 abitanti; oggi, i computer moderni eseguono una mole incredibile di elaborazioni, con consumi paragonabili a quelli di una lampadina da tavolo. Questa drastica riduzione dell'entropia è stata possibile proprio grazie all'aumento di informazione presente nel progetto dei computer moderni.

In conclusione, possiamo definire con il termine “informazione” ogni elemento in grado di ridurre l'entropia di un qualsiasi sistema. In base a queste considerazioni, Ludwig von Bertalanffy⁴², padre della teoria generale dei sistemi, evidenzia che l'informazione presente nel progetto, nell'organizzazione e nel sistema, riduce l'entropia. Per questo motivo, Bertalanffy associa l'informazione ad una nuova qualità da lui denominata neghentropia (cioè entropia con segno negativo). Anche Léon Brillouin collegò la neghentropia all'informazione. La sua profonda competenza nel campo della meccanica statistica e il suo appassionato interesse per le telecomunicazioni gli fecero immediatamente cogliere l'importanza, per la fisica, della nascente teoria dell'informazione. In un libro di grande successo, *“Science and Information Theory”*, egli codificò, nel 1960, il legame tra entropia e informazione, affermando che esiste una precisa relazione tra la variazione dell'entropia di un sistema e l'acquisizione di informazioni relative al sistema stesso: «L'entropia è una misura della mancanza di informazione relativamente a un sistema fisico: più grande è l'informazione, più piccola

⁴¹ L'algebra booleana si applica ai sistemi binari nei quali sono presenti solo due tipi di alternative (ad esempio sì/no, vero/falso, presente/assente), tra le quali il sistema deve costantemente operare una scelta. In particolare, l'algebra booleana descrive le regole attraverso le quali queste scelte vengono espresse.

⁴² L. von Bertalanffy, *Teoria Generale dei Sistemi*, ISEDI, Milano 1977.

sarà l'entropia. L'informazione rappresenta un termine negativo nell'entropia di un sistema, sicché si può definire l'informazione come entropia negativa.»⁴³. O. Costa de Beauregard introdusse il concetto di informazione che viene dal futuro: "Nella meccanica quantistica si possono compiere esperimenti decidendo solo dopo l'inizio dell'operazione quale aspetto della realtà si vuole mettere in evidenza. Se, per esempio, abbiamo due particelle che partono da un'origine comune, possiamo decidere parecchio tempo dopo l'inizio dell'esperimento se vogliamo evidenziarne l'aspetto di interferenza ondulatoria o quello localizzabile di particelle. Qui e adesso, in un laboratorio di astrofisica, possiamo decidere di porre in evidenza l'aspetto di interferenza o l'aspetto di particella dei fotoni che ci giungono dai quasar. Il che equivale a dire che possiamo retroagire sul momento in cui i fotoni venivano emessi, ossia quattro miliardi di anni luce or sono. Quello che è successo allora è determinato da quello che ne facciamo oggi in laboratorio"⁴⁴. Ancora, F. Hoyle riconobbe che l'unico modo per introdurre nella scienza i concetti di ordine e organizzazione è quello di utilizzare informazione che viene dal futuro⁴⁵.

Possiamo concludere, a questo punto, che una delle caratteristiche dell'inversione della freccia del tempo è l'aumento dell'informazione e, di conseguenza, la riduzione dell'entropia.

6. Come interpretare la vita?

Come abbiamo visto, l'approccio che nasce dalla fisica newtoniana descrive la vita come una macchina, mentre la termodinamica e il principio di entropia arrivano a negare la possibilità stessa della vita, considerata un evento altamente improbabile in continua lotta con le leggi dell'universo che non ne prevedono l'esistenza. Alla luce dei recenti sviluppi della fisica moderna, si è infine arrivati a descrivere la vita come conseguenza dell'entropia negativa e dell'inversione della freccia del tempo.

Per spiegare le qualità della vita si è assistito, negli ultimi anni, ad un susseguirsi di proposte che in modi diversi suggeriscono l'esistenza di un livello aggiuntivo in fisica, simmetrico a quello dell'entropia. Oltre alle teorie già citate nel paragrafo precedente e

⁴³ L. Brillouin, *Science and information Theory*, Accademic Press, New York 1962.

⁴⁴ O. Costa De Beauregard, *Théorie synthétique de la relatività restrinte et des quanta*, Gauthier – Villars, Paris 1957.

⁴⁵ F. Hoyle, *L'universo intelligente*, Mondatori, Milano 1984, pag. 211.

relative al legame esistente tra informazione, neghentropia e sistemi viventi, qui di seguito segnaliamo altre teorie tra le più significative:

- Erwin Schrödinger introdusse il concetto di entropia negativa. Egli si chiedeva quale fosse il prezioso elemento che è contenuto nel nostro cibo e che ci preserva dalla morte⁴⁶. In una parola, perché abbiamo bisogno di mangiare cibi biologici e non possiamo prendere l'energia e la materia che ci serve direttamente dagli alimenti chimici di base? Schrödinger risponde a questa domanda affermando che la vita si nutre di neg-entropia: essa viene estratta dai cibi biologici attraverso il processo metabolico.
- Ilya Prigogine, premio Nobel per la chimica, introdusse, nel suo libro "La nuova alleanza"⁴⁷, un nuovo tipo di termodinamica, la "termodinamica dei sistemi dissipativi", caratteristica dei sistemi viventi in grado di mantenersi lontani dalla morte termica. Prigogine affermava che questo livello non è riducibile ai principi della dinamica o della termodinamica classiche⁴⁸;
- Hermann Haken, uno dei padri del laser, per spiegare i principi d'ordine caratteristici della luce coerente (laser), introdusse un livello da lui chiamato "ordinatore", la cui vera natura è, tuttavia, ancora sconosciuta⁴⁹;
- Teilhard de Chardin introdusse l'energia radiale con la quale arriva alla formulazione della "legge di complessificazione", che spiega come nel corso dell'evoluzione biologica siano apparsi esseri sempre più complessi e capaci di organizzarsi, cioè di unirsi e di integrarsi⁵⁰;

A partire dal 1941, Luigi Fantappiè, uno dei massimi matematici italiani, sviluppò la ben nota «teoria unitaria del mondo fisico e biologico», in cui introduce il concetto di «sintropia», cioè una nozione di *ordine*, che si contrappone alla «entropia», legata al *disordine*. L'importanza di tale concetto sta nel fatto che la sintropia di Fantappiè non viene inserita nella scienza come ipotesi più o meno arbitraria, ma come una

⁴⁶ E. Schrödinger, *Che cos'è la vita*, Sansoni, Firenze 1988, pag. 74-75.

⁴⁷ I. Prigogine, *La nuova alleanza*, Longanesi Editore, Milano 1979.

⁴⁸ I. Prigogine, *Tempo, irreversibilità e strutture*, in *op.cit.*, Longanesi Editore, Milano 1979, pag. 294.

⁴⁹ H. Haken, *Sinergetica, il segreto del successo della natura*, Bollati Boringhieri, Torino 1983.

⁵⁰ P. Teilhard de Chardin, *Le phénomène humain*, Ed. du Seuil, 1955.

conseguenza necessaria e logica della relatività e della meccanica quantistica. E' per questo motivo che alla proposta di Fantappiè sarà dedicato il prossimo capitolo.

7. Fantappiè: una breve biografia

Luigi Fantappiè nacque a Viterbo il 15 settembre 1901 e frequentò la Scuola Normale di Pisa, laureandosi in matematica pura a 21 anni, il 4 luglio 1922. Nel 1926 vinse la cattedra di Analisi Algebrica dell'Università di Firenze e nel 1927 quella di Analisi Infinitesimale dell'Università di Palermo. Le sue importanti ricerche matematiche vennero premiate con la Medaglia d'oro per la matematica della Società Italiana delle Scienze (1929), con il Premio per la Matematica dell'Accademia Nazionale dei Lincei (1931) e con il Premio Volta dell'Accademia d'Italia (1931). Nell'Anno Accademico 1931-32 tenne una serie di conferenze nelle Università di Berlino, Gottinga, Monaco, Colonia, Friburgo e Lipsia, e nel 1932 venne nominato Direttore dell'Istituto Matematico dell'Università di Bologna. Dopo aver trascorso sei anni a San Paolo in Brasile per organizzare l'Istituto Matematico, nel 1939 divenne vice-presidente dell'Istituto Nazionale di Alta Matematica dell'Università di Roma (fondato e diretto da Francesco Severi), con la cattedra di Alta Analisi. Nel 1954 venne nominato Accademico dei Lincei e nel 1955 insignito della Medaglia d'oro dei Benemeriti della Cultura, dal Ministero della Pubblica Istruzione. Morì a Bagnaia di Viterbo il 28 luglio 1956.

8. La Teoria Unitaria del mondo fisico e biologico

Agli inizi del 1940 Luigi Fantappiè, lavorando sulle equazioni della fisica quantistica e della relatività ristretta, evidenziò una particolarità dell'equazione di D'Alembert che descrive la propagazione delle onde. Questa equazione presenta infatti due soluzioni:

- 1) la soluzione dei "potenziali ritardati" che descrive onde divergenti da una fonte, una causa posta nel passato e che le ha prodotte;
- 2) la soluzione dei "potenziali anticipati" che descrive onde convergenti verso una fonte, una causa posta nel futuro.

Le onde divergenti (ad esempio calore, suono, onde radio) descrivono tutti quei fenomeni causati dal passato, mentre le onde convergenti descrivono tutti quei fenomeni che tendono a, sono attratti da sorgenti collocate nel futuro.

La scoperta di Fantappiè può essere considerata la naturale evoluzione delle scoperte avvenute in fisica all'inizio del Novecento:

1. Einstein aveva introdotto, nel 1905, la teoria della relatività ristretta, che comportava la descrizione dell'universo sulla base di quattro dimensioni: le tre dimensioni dello spazio e la quarta dimensione del tempo, aprendo in questo modo la strada a spiegazioni in cui passato, presente e futuro coesistono;
2. Dirac, nel 1928, aveva dimostrato l'esistenza del positrone come antiparticella dell'elettrone, dando l'avvio a tutta una serie di studi sull'antimateria e sull'inversione della freccia del tempo.
3. infine, la meccanica quantistica era arrivata a dimostrare che tutte le leggi della fisica sono simmetriche rispetto al verso del tempo.

Fantappiè aggiunse a queste scoperte un elemento nuovo. Egli dimostrò, da una parte, che le onde divergenti, le cui cause sono poste nel passato, corrispondono ai fenomeni chimici e fisici soggetti al principio dell'*entropia*⁵¹; dall'altra, che le onde convergenti, le cui cause sono poste nel futuro, corrispondono ad una nuova categoria di fenomeni soggetti ad un principio simmetrico a quello dell'entropia, principio che Fantappiè denominò *sintropia*.⁵²

Analizzando le qualità dei sistemi sintropici Fantappiè collegò la sintropia ai sistemi viventi: finalità, differenziazione, ordine e organizzazione, giungendo così alla formulazione della "Teoria Unitaria del Mondo Fisico e Biologico" presentata il 30 ottobre del 1942 presso l'Accademia d'Italia.

⁵¹ L. Fantappiè, *Principi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologico*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 34.

⁵² L. Fantappiè, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 45.

9. La Sintropia di Fantappiè e il vitalismo

Le difficoltà incontrate dalla causalità classica nel descrivere i processi viventi, aveva portato nell'800 all'introduzione in biologia di una "forza vitale" in opposizione alle forze fisiche e chimiche⁵³. In base a questa forza vitale i fenomeni della vita dovevano quindi obbedire a leggi biologiche differenti ed in contrasto con quelle fisiche. Questa ipotesi poteva essere confermata dal fatto che non era ancora stato possibile ottenere in laboratorio sostanze organiche a partire da quelle inorganiche. La sintesi dell'urea, realizzata da Woehler nel 1828, e le altre sintesi organiche, invalidarono la teoria della forza vitale, provocando una profonda crisi del vitalismo.

La sintropia di Fantappiè, pur caratterizzandosi come un principio tipico dei sistemi viventi, in grado di descrivere quelle qualità e quei processi che rimangono esclusi dalla causalità meccanica, si distingue profondamente da un approccio vitalistico, in quanto è una naturale evoluzione delle leggi della fisica contemporanea (teoria della relatività e fisica quantistica).

10. Interazione tra entropia e sintropia: complessità e ordine, la scienza del caos.

Come descritto nel modello di Fantappiè-Arcidiacono⁵⁴, è possibile osservare tre tipi fondamentali di fenomeni:

- a) **I fenomeni entropici**, nei quali la "componente" entropica è prevalente: essi sono di tipo disgregativo perché soggetti al livellamento entropico. Di conseguenza, in questi fenomeni si osserva il passaggio da stati più complessi a stati più semplici.
- b) **I fenomeni sintropici**, nei quali prevale la "componente" sintropica: essi sono di tipo costruttivo e tendono a realizzare stati sempre più complessi e differenziati.
- c) **I fenomeni di equilibrio**, in cui si ha equilibrio tra le due componenti entropica e sintropica: in questi fenomeni non si osserva né la differenziazione sintropica, né il livellamento entropico. Tali fenomeni si situano a metà strada tra il determinismo

⁵³ G. e S. Arcidiacono, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 64.

⁵⁴ G. e S. Arcidiacono, *op. cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1991, pag. 54.

(cause collocate nel passato) e l'indeterminismo (attrattori, ossia cause collocate nel futuro).

I fenomeni di equilibrio ubbidiscono ai seguenti principi:

1. principio di causalità-attrazione, in base al quale ogni fenomeno è prodotto da cause e guidato da attrattori. Di conseguenza esso dipende non solo dal passato (cause efficienti), ma anche dal futuro (attrattori);
2. principio di riproducibilità parziale, per cui si può agire in modo diretto solo sulla componente entropica dei fenomeni, ma solo indirettamente sulla loro componente sintropica. Ciò significa che la parte sintropica dell'universo è sottratta alla nostra azione causale, sempre di tipo entropico;
3. principio del livellamento-differenziazione, secondo il quale in ogni fenomeno la componente entropica è soggetta al livellamento e quella sintropica tende a raggiungere stati di maggiore complessità. Di conseguenza ad ogni processo costruttivo è accoppiato un processo disgregativo e viceversa.

In particolare, i fenomeni di equilibrio suggeriscono l'esistenza di attrattori anche nei fenomeni fisici che non sono diretta espressione dei sistemi viventi (ad esempio i fenomeni meteorologici).

Nel 1963 il meteorologo E. Lorenz⁵⁵ scoprì l'esistenza di sistemi caotici sensibili, in ogni punto del loro moto, a piccole variazioni. Ad esempio, studiando al computer un semplice modello matematico dei fenomeni meteorologici, si accorse che con una piccola variazione delle condizioni iniziali si produceva uno "stato caotico" che si amplificava e che rendeva impossibile ogni previsione. Analizzando questo sistema che si comportava in modo così imprevedibile, Lorenz scoprì l'esistenza di un attrattore che venne poi chiamato "attrattore caotico di Lorenz": questo attrattore porta le perturbazioni microscopiche ad essere enormemente amplificate e ad interferire con il comportamento macroscopico del sistema. Lorenz stesso descrisse questa situazione con la celebre frase: "il battito d'ali di una farfalla in Amazzonia può provocare un uragano negli Stati Uniti".

⁵⁵ E. Lorenz, *Deterministic Nonperiodic Flow*, Journal of the Atmospheric Sciences, 1963, Vol.20, No.2, pp.130-140.

I lavori di Lorenz segnarono la nascita della scienza del caos, dedicata allo studio degli attrattori. A tal proposito, è interessante notare il bisticcio di parole che nasce tra ordine e disordine. Come abbiamo fin qui visto, il disordine è legato ai sistemi entropici ed è quindi un prodotto dei processi deterministici causa-effetto, mentre l'ordine è una caratteristica della sintropia e dei processi che tendono verso attrattori collocati nel futuro. Nella scienza del caos, al contrario, l'ordine viene associato ai sistemi deterministici (entropici), mentre il disordine viene associato ai sistemi non deterministici (sintropici). L'origine di tale bisticcio deriva probabilmente dal fatto che la scienza del caos considera "ordinati" i sistemi perfettamente prevedibili, e "disordinati" i sistemi imprevedibili (come i fenomeni meteorologici). In realtà, è da sottolineare che i sistemi entropici tendono sempre al disordine, in quanto sono per definizione disgregativi e dissipativi; al contrario, i fenomeni sintropici tendono all'ordine in quanto attratti da una causa posta nel futuro che li "attira" verso una crescente complessità e organizzazione: ciò, però, viene da noi percepito come caos in quanto non siamo in grado di osservare direttamente l'attrattore posto nel futuro che determina l'evoluzione di tali sistemi.

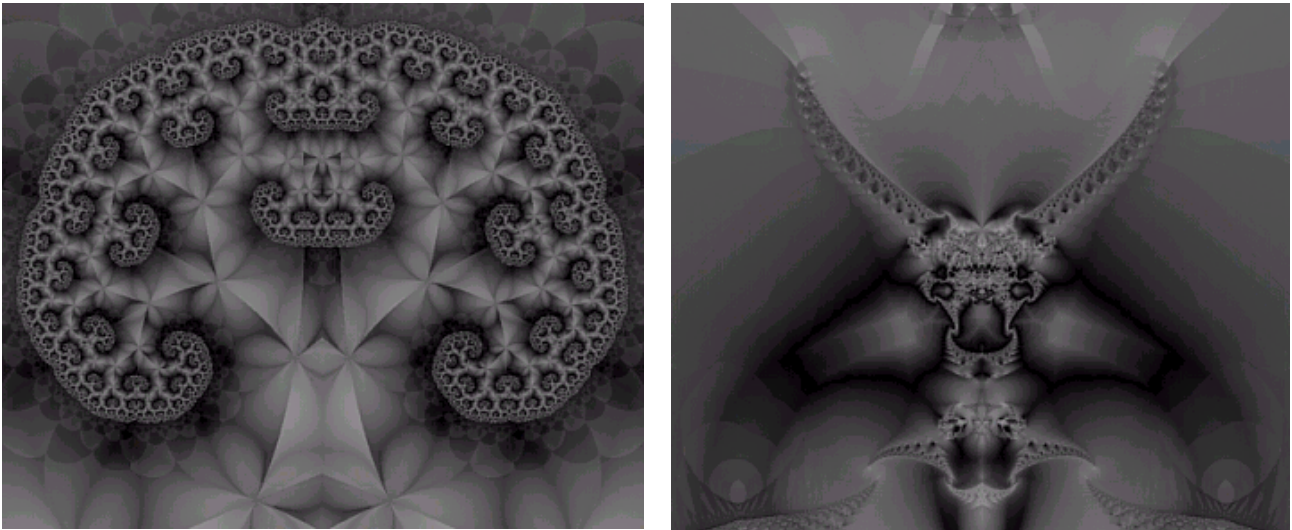
11. Caos e frattali

La geometria dei frattali, nata dai lavori di Mandelbrot⁵⁶ negli anni '70, mostra che inserendo in un sistema geometrico degli attrattori si generano figure complesse e allo stesso tempo ordinate. Nella geometria frattale un attrattore è un'operazione, una funzione, che se ripetuta porta il risultato a tendere verso un limite irraggiungibile. Ad esempio, se si ripete la radice quadrata di un numero superiore a zero (ma diverso da uno) il risultato tenderà ad uno (ma non lo raggiungerà mai). Il numero uno è quindi l'attrattore della radice quadrata. Allo stesso modo, se si continua ad elevare al quadrato un numero superiore a zero il risultato tenderà ad infinito e se si continua ad elevare al quadrato un numero inferiore a zero, il risultato tenderà a zero. Le figure frattali si ottengono nel momento in cui in un'equazione si inseriscono uno o più attrattori.

⁵⁶ B.B. Mandelbrot, *Gli oggetti frattali*, Einaudi, Torino 1987.

I frattali sono solo uno dei tanti possibili esempi di interazione tra entropia e sintropia.

La geometria frattale sta affascinando molti ricercatori a causa della similarità che alcune di queste figure hanno con l'organizzazione dei sistemi viventi. Infatti, in natura moltissime strutture richiamano la geometria frattale: il profilo delle foglie, lo sviluppo dei coralli, la forma del cervello e le diramazioni dendritiche.



Notevole la somiglianza di queste immagini frattali con le strutture cerebrali. Immagini tratte dal sito:

<http://fractalarts.com/>

E' straordinaria la quantità di strutture frattali osservabili all'interno del corpo umano, ad esempio:

1. le arterie e le vene coronariche presentano ramificazioni di tipo frattale. I vasi principali si ramificano in una serie di vasi più piccoli che, a loro volta, si ramificano in vasi di calibro ancora più ridotti. Sembra, inoltre, che queste strutture frattali abbiano un ruolo vitale nella meccanica della contrazione e nella conduzione dello stimolo elettrico eccitatorio: l'analisi spettrale della frequenza cardiaca mostra che il battito normale è caratterizzato da un ampio spettro che ricorda una situazione caotica;
2. anche i neuroni presentano una struttura simile ai frattali: se si esaminano a basso ingrandimento si possono osservare ramificazioni asimmetriche (i dendriti) connesse con i corpi cellulari, a ingrandimento leggermente superiore si osservano ramificazioni più piccole a partire da quelle più grandi e così via;

3. le vie aeree polmonari ricordano i frattali generati al calcolatore. Bronchi e bronchioli formano un albero con ramificazioni multiple, la cui configurazione si presenta simile sia ad alto che a basso ingrandimento. Misurando i diametri dei diversi ordini di ramificazione, si è appurato che l'albero bronchiale può essere descritto con la geometria frattale.

Queste osservazioni hanno portato ad ipotizzare che l'organizzazione e l'evoluzione dei sistemi viventi (tessuti, sistema nervoso, ecc.) possa essere guidata da una serie di attrattori, in modo analogo a quanto avviene nella geometria frattale.

Le strutture frattali del corpo umano crescono attraverso uno sviluppo lento: la dinamica dell'evoluzione embrionale. Probabilmente l'insieme delle strutture frattali degli organismi viventi si sviluppa attraverso informazioni molto limitate dei parametri di un complesso algoritmo, determinando lo sviluppo verso l'insieme delle forme frattali componenti l'organismo.

In conclusione, la medicina sembra uno dei settori più fertili della scienza per lo sviluppo e lo studio dei frattali e delle dinamiche caotiche. Gli studiosi hanno bisogno di comprendere meglio come i processi di sviluppo possono portare alla formazione di architetture frattali e di come nel corpo umano il caos apparente sia generato dai processi dinamici.

12. Processi quantici nel cervello

Chris King⁵⁷, evidenziando il fatto che la super-causalità è nata dalla meccanica quantistica, introduce la possibilità di processi non locali nello spazio e nel tempo. È importante ricordare che il concetto di non-località nasce dall'inversione della freccia del tempo, inversione determinata dall'esistenza di antiparticelle che si muovono ad una velocità superiore a quella della luce (ricordiamo a questo proposito i lavori di Dirac e Feynman menzionati nel paragrafo 4). Tale inversione rende possibile passaggi istantanei di informazione tra punti non locali dell'universo, cioè punti distanti nello

⁵⁷ E.R. Mac Cormac, M.I. Stamenov, *op.cit.*, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam 1996.

spazio e/o nel tempo. Questo passaggio istantaneo di informazione viene indicato con il termine di non-località spazio-temporale.

L'esistenza di processi non-locali è una delle qualità base dell'inversione della freccia del tempo e deve perciò essere intesa come una qualità base di tutti i processi sintropici, non ultimi i sistemi in cui operano attrattori o che possono essere descritti solo ricorrendo alla scienza del caos.

Poiché i sistemi viventi e i processi cerebrali sono tipici esempi di sistemi sintropici, è inevitabile la considerazione che la supercausalità e la non-località devono essere qualità tipiche dei sistemi viventi ed in modo particolare dei processi cerebrali. Ne consegue, ad esempio, che i processi cerebrali debbano presentare la co-presenza di caos e ordine (caratteristiche tipiche dei processi non-locali e degli attrattori/sintropia): il caos nasce dal fatto che si attivano processi non meccanici, non determinabili, mentre l'ordine nasce dal fatto che i sistemi sintropici, attraverso l'azione degli attrattori, portano inevitabilmente ad una riduzione dell'entropia e ad un aumento della differenziazione e dell'organizzazione. Questo fatto è particolarmente evidente nei processi cerebrali, processi nei quali coesistono caos, complessità e ordine.

King afferma che *“l'interazione tra cause che non sono tra loro contigue si manifesta sotto forma di un'apparente situazione caotica che può quindi essere studiata solo da un punto di vista probabilistico. In altre parole, i processi caotici che si osservano nel sistema nervoso possono essere il risultato di un comportamento apparentemente casuale di tipo probabilistico, in quanto non è locale sia nello spazio come nel tempo stesso. Ciò potrebbe, ad esempio, consentire ad una rete neurale di connettersi a livello sub-quantico con situazioni non-locali nello spazio e nel tempo, e quindi spiegare il motivo per cui i comportamenti risultino attualmente non determinabili per mezzo delle tecniche classiche computazionali. L'interazione quantica renderebbe le reti neurali analoghe ad assorbitori e trasmettitori di particelle e di anti-particelle.”* King prosegue affermando che il modello della supercausalità combina un approccio riduzionista, in cui i fenomeni biologici vengono ridotti a modelli fisici e chimici, con un approccio quantistico che rende, di conseguenza, l'intero sistema non determinabile. Infine, l'autore conclude affermando che il libero arbitrio nasce dal fatto che ogni nostra cellula e processo è costantemente obbligato a scegliere tra informazioni che vengono dal passato (onde divergenti, emettitori-entropia) e informazioni che vengono dal futuro (onde convergenti, assorbitori-sintropia). Il modello della supercausalità suggerisce

perciò che a livello macroscopico i sistemi neuronali debbano presentare costantemente caratteristiche caotiche. Di questo apparente caos si alimentano i processi della coscienza che sono fondamentalmente di tipo sintropico e quindi non riproducibili in laboratorio o grazie a tecniche computazionali.

Jeffrey Satinover in un recente libro suggerisce che una risposta a tutto ciò può essere ricercata nel fatto che nel cervello umano esistono strutture che sembrano perfettamente designate alla cattura degli effetti quantici, e alla loro amplificazione. Se così fosse, le azioni generate dal cervello, e dalla società umana nel suo complesso, potrebbero condividere (almeno in parte) la libertà assoluta, il mistero e la non-meccanicità del mondo quantico⁵⁸

Nel lontano 1948 Luigi Fantappiè, lavorando su considerazioni analoghe a quelle di King e di Satinover⁵⁹, avanzava l'ipotesi che nel momento in cui i processi all'interno dei sistemi viventi sono di tipo sintropico, quindi strettamente legati alle caratteristiche della meccanica quantistica, e nel momento in cui passato, presente e futuro coesistono, nascono automaticamente una serie di ipotesi estremamente suggestive in merito al funzionamento del cervello. In proposito Fantappiè fa un semplice esempio limitato alla memoria. Le proprietà della meccanica quantistica suggeriscono infatti che la memoria possa funzionare secondo processi non-locali nello spazio tempo e quindi in modo estremamente diverso da quello fino ad oggi proposto da biologi e neuropsicologi. Dalla coesistenza di passato, presente e futuro e dalla non-località dei processi quantistici deriva infatti la possibilità di flussi istantanei e non-locali di informazione tra punti distanti dello spazio e del tempo. Di conseguenza è possibile immaginare la memoria come un insieme di processi "quantici" in cui l'informazione viene prodotta/ricordata stabilendo collegamenti non-locali. Secondo questa ipotesi, quando ricordiamo eventi passati il cervello si collegherebbe all'evento non-locale, ma tuttora presente nello spazio-tempo, e il ricordo verrebbe attinto direttamente da tale collegamento e non da "magazzini" di memoria all'interno del nostro cervello. Questa ipotesi, estremamente suggestiva e a distanza di 60 anni ancora estremamente azzardata, potrebbe costituire un importante contributo alla comprensione di un fenomeno complesso come la memoria umana.

In definitiva, l'allargamento della scienza psicologica alle qualità di non-località della fisica quantistica e alle qualità della sintropia aprirebbbero la strada a studi scientifici in

⁵⁸ J. Satinover, *Il cervello quantico*, Macro Edizioni, Cesena 2002, pag. 203.

⁵⁹ L. Fantappiè, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1993, p. 74.

grado di affrontare tutte quelle tematiche attualmente escluse dalla psicologia in quanto considerate al di fuori della scienza (ad esempio, la parapsicologia).

13. Conclusioni: scienza e religione, la fine di un dualismo

La rivoluzione scientifica iniziata con le opere di Newton e Galileo ha avuto come esito la divisione della cultura in due: da una parte la scienza, in grado di studiare gli aspetti entropici della realtà, e dall'altra la religione, dedicata allo studio degli aspetti sintropici, come ad esempio l'anima e le finalità. L'inserimento della sintropia nella scienza implica un profondo cambiamento culturale che Fantappiè descrive nel modo seguente:

“Vediamo ora, in conclusione, che cosa si può dire per la vita. Quello che distingue la vita dalla non vita è dunque la presenza, negli esseri viventi, di questi fenomeni sintropici, finalistici, come fenomeni tipici della vita. Ora come si considera essenza del mondo entropico, meccanico, il principio di causalità, è naturale considerare essenza del mondo sintropico il principio di finalità. Quindi l'essenza della vita è proprio in questo principio di finalità. Vivere, in sostanza, significa tendere a fini. In particolare, nella vita umana, che aspetto prendono questi fini? Quando un uomo è attratto dal denaro, si dice che «ama» il denaro. L'attrazione verso un fine, per noi uomini, è sentita come «amore». Noi vediamo dunque che la legge fondamentale della vita umana è questa: la legge dell'amore. Non sto facendo una predica sentimentale; io vi sto esponendo dei veri e propri teoremi dedotti logicamente da premesse sicure, ma è certo meraviglioso e forse commovente che, arrivati ad un certo punto, quelli che sono teoremi parlino anche al nostro cuore!”⁶⁰

Il profondo impatto emotivo e culturale della nuova visione dell'universo derivante dalla fisica quantistica è testimoniato anche dai lavori di Fritjof Capra che riporta, tra l'altro, alcune vicende personali come la difficoltà di Einstein ad accettare l'esistenza di connessioni non locali e la risultante fondamentale importanza della probabilità: *“Fu questo il tema della storica controversia con Bohr negli anni venti, nella quale Einstein espresse la sua opposizione all'interpretazione della teoria quantistica data da Bohr con la metafora "Dio non gioca a dadi." Alla fine della controversia Einstein dovette ammettere*

⁶⁰ L. Fantappiè, *op.cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1993, p. 50.

che la teoria quantistica, nell'interpretazione di Bohr e di Heisenberg, formava un sistema di pensiero coerente."⁶¹

David Bohm⁶², nel suo testo sulla teoria quantistica, offre alcune interessanti analogie fra processi quantistici e processi di pensiero arrivando alla tesi che grazie alla meccanica quantistica l'universo comincia ad assomigliare sempre più ad un grande pensiero che non ad una grande macchina.

Ilya Prigogine, premio Nobel per la chimica ed esperto di termodinamica dei sistemi complessi, formulò nel 1967 il concetto di *struttura dissipativa*, cioè strutture in grado di mantenersi lontane dalla morte termica. A tal fine Prigogine inserisce un nuovo livello non riducibile alla dinamica o alla termodinamica, livello analogo alla sintropia di Fantappiè. Nel libro *La Nuova Alleanza*⁶³ Prigogine presenta questo livello come un nuovo paradigma epistemologico in grado di riunire scienza e religione.

Infine, Fantappiè afferma che oggi vediamo stampate nel gran libro della natura - che, diceva Galilei, è scritto in caratteri matematici - le stesse leggi di amore che si ritrovano nei testi sacri delle principali religioni. *"[...] la legge della vita non è dunque la legge dell'odio, la legge della forza, cioè delle cause meccaniche, questa è la legge della non vita, è la legge della morte; la vera legge che domina la vita è la legge dei fini, e cioè la legge della collaborazione per fini sempre più elevati, e questo anche per gli esseri inferiori. Per l'uomo è poi la legge dell'amore, per l'uomo vivere è, in sostanza, amare, ed è da osservare che questi nuovi risultati scientifici possono avere grandi conseguenze su tutti i piani, in particolare anche sul piano sociale, oggi tanto travagliato e confuso. [...] La legge della vita è dunque legge d'amore e di differenziazione, non va verso il livellamento, ma verso una diversificazione sempre più spinta. Ogni essere vivente, modesto o illustre, ha i suoi compiti e i suoi fini che, nell'economia generale dell'universo, sono sempre pregevoli, importanti, grandi."*⁶⁴

⁶¹ F. Capra, *op. cit.*, Feltrinelli, Milano 1992, pag. 71.

⁶² D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New-York 1951, p. 167 e ss.

⁶³ I. Prigogine, *op. cit.*, Longanesi, Milano 1979.

⁶⁴ L. Fantappiè, *op. cit.*, Di Renzo Editore, Roma 1993, p. 50-51.