

AUTO RICERCA

Un nuovo concetto di archetipo nella fisica dell'auto-organizzazione

Leonardo Chiatti

Numero 8

Anno 2014

Pagine 109-126

 LAB

Riassunto

L'avvento della fisica newtoniana ed il successo di modalità descrittive dei fenomeni naturali incentrate su schemi causali di tipo bottom-up portarono, nel corso dei secoli XVIII°-XIX°, al definitivo tramonto della causazione top-down. L'articolo si propone di rivedere tale questione alla luce delle conoscenze odierne nel campo della microfisica. In particolare, viene argomentata la possibilità di schemi di interconnessione sincronica tra eventi fisici del mondo naturale, non supportati dallo scambio di materia o energia. La possibilità di tali ipotetici schemi, per i quali si propone il nome di "archetipi", emerge dal fatto che la spazialità delle microentità fisiche è puramente effimera e contestuale ai processi di riduzione dello stato quantico. Tra questi vi sono certamente i processi di osservazione ed auto-osservazione dei sistemi viventi a livello molecolare, per cui la connessione archetipica potrebbe costituire un canale informativo rilevante nello sviluppo e nella evoluzione dei viventi. L'esistenza degli archetipi è in linea di principio sperimentalmente testabile una volta ammesse opportune ipotesi aggiuntive sulla loro modalità di azione. Viene discusso uno schema sperimentale modello finalizzato a questo test. Un eventuale esito positivo di test di questo tipo dimostrerebbe: (1) che la non località quantistica è un caso particolare di un principio di interconnessione non locale assai più generale; (2) che già a livello dei più semplici fenomeni naturali esistono forme di creatività e livelli di significato.

Premesse

Molti sistemi fisici sottostanno a processi evolutivi nel corso dei quali il loro grado di organizzazione cresce. Tra questi processi il più evidente è senza dubbio l'evoluzione delle forme viventi e della biosfera intesa come un tutto. L'ordine biologico è così mirabile che numerosi pensatori si sono chiesti, nel corso degli anni, se a determinarlo non concorrano anche forme molto particolari di correlazione tra gli eventi che sono ad esso inerenti. Queste correlazioni sarebbero supercausali o acausali, non locali, secondo certe ipotesi perfino transtemporali, e non associate in alcun modo allo scambio di materia o di energia tra gli eventi connessi.

Per quanto riguarda il meccanismo alla base di queste magiche correlazioni, ogni autore ha la sua ipotesi. Abbiamo così la sintropia di *Fantappié*, l'ipotesi del "punto biologico" di *Azzi*, il campo psi di *Laszlo*, i campi morfogenetici di *Sheldrake*, eccetera. A mio giudizio, nessuna di queste ipotesi è coerente o credibile, sebbene l'idea di principi immateriali informatori dei processi biologici (cioè di *entelechie*) sia assai antica e degna di considerazione.

Personalmente ritengo che se vogliamo affrontare seriamente la questione dobbiamo vedere i fenomeni evolutivi come aspetti del più ampio processo chiamato cosmogenesi, ossia di quel processo tramite il quale l'Universo viene in essere. Storicamente, vi sono stati due distinti approcci alla cosmogenesi, che io chiamerò *sincronico* e *diacronico*; questi due approcci differiscono proprio per il significato che si dà all'espressione "venire in essere" dell'Universo.

L'approccio sincronico è stato dominante dall'antichità fino all'avvento della rivoluzione scientifica nel '600-'700; a partire da quel momento è stato gradualmente soppiantato dall'approccio diacronico. La scienza attuale vede i processi di evoluzione (su scala cosmologica, geologica, biologica, ecc.) in termini esclusivamente diacronici.

Nell'approccio diacronico, che è oggi senz'altro più familiare, i processi sono concepiti avvenire esclusivamente su una "rete" di coordinate spaziotemporali che ne etichettano ogni singolo evento. La connessione tra due eventi o è assente o, se c'è, è di un unico tipo, ossia è una connessione causale, consistente nello scambio di un segnale materiale o energetico tra i due eventi. Due eventi possono anche essere correlati senza essere causalmente connessi, ma questo solamente se entrambi sono connessi a una comune causa nel passato. Infine, anche la rete spaziotemporale ha una sua storia, che si pensa avere origine in un certo momento *del passato* (big bang). Così, l'origine del tempo è un evento che appartiene al tempo.

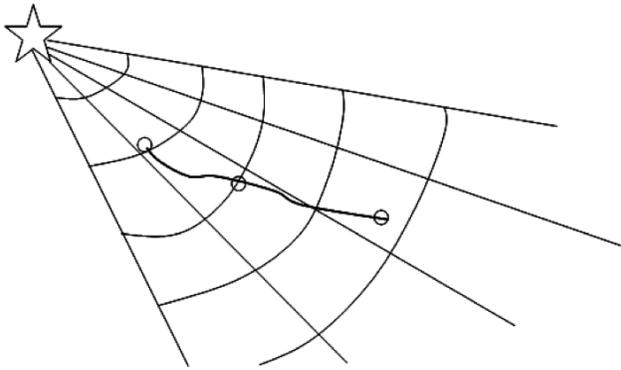


Figura 1 Approccio diacronico.

Nell'approccio sincronico l'entità fondamentale è invece costituita da un'unità extraspaziotemporale. Attraverso una cascata di successive rotture di simmetria, da questa unità hanno luogo i vari eventi del mondo fisico; lo spaziotempo appare contestualmente ad essi, come struttura di relazione tra essi.

Questo processo collega quindi l'aspaziale-atemporale (che è l'unità principale) al mondo degli ordinari processi nello spazio e nel tempo. Esso funziona anche in senso inverso: i vari eventi possono essere riconnessi all'unità principale attraverso il ripristino di determinate simmetrie. In questo approccio l'Universo appare in

blocco unico da un unico atto di dispiegamento/ripiegamento, in tutta la sua storia passata, presente e futura.

Nel periodo 1700-1850 circa, la scienza era in una fase di transizione: sotto la spinta del successo pratico della meccanica newtoniana l'approccio diacronico stava guadagnando terreno ma, soprattutto nel campo della morfologia e della sistematica biologica, il tradizionale approccio sincronico era ancora seguito. La gente si poneva il problema di una possibile conciliazione tra i due approcci, conciliazione che non era semplice. Infatti, nell'approccio diacronico la successione temporale degli stati del sistema è univocamente determinata dalle condizioni iniziali e da quelle al contorno, sicché ogni supplementare intervento sincronico o è in conflitto con tale successione, o è ridondante dal punto di vista esplicativo.

Alla fine trionfò l'approccio diacronico. Con il senno di poi si può dire che la conciliazione era impossibile perché all'epoca gli unici eventi noti erano gli stati macroscopici di un sistema, e quindi il punto di inserimento del dispiegamento/ripiegamento sincronico sulla catena causale diacronica doveva essere necessariamente costituito da uno stato macroscopico.

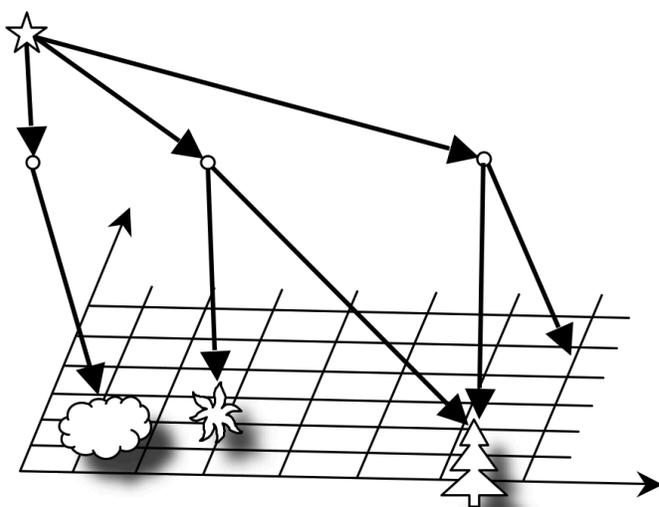


Figura 2 Approccio sincronico.

La proposta

Il tentativo di conciliare i due approcci va, a mio modo di vedere, rivisto alla luce delle nostre attuali conoscenze di microfisica. Al giorno d'oggi sappiamo che il micromondo è descritto dalle leggi quantistiche, e ogni processo macroscopico è un flusso di processi quantistici elementari.

L'atto quantistico elementare è costituito da due eventi: il primo coincide con la creazione dello stato iniziale di un micro-oggetto (per esempio, la creazione di un fotone con una certa frequenza, ecc.); il secondo, successivo al primo, coincide con la distruzione dello stato finale dello stesso micro-oggetto (per esempio l'assorbimento di quel fotone su un rivelatore).

Lo stato iniziale è descritto da una certa funzione d'onda, lo stato finale è il risultato dell'evoluzione temporale di quella funzione d'onda, ulteriormente trasformato dal fenomeno del "collasso". Nella terminologia di *Penrose* [HAWKING & PENROSE, 2002], [PENROSE, 2005] il processo di evoluzione temporale della funzione d'onda tra questi due estremi (processo U) va distinto dagli estremi stessi (processi R). Molto brevemente, Penrose indica come processi R i microeventi associati al collasso o riduzione ($R = reduction$) della funzione d'onda¹. Questa distinzione, invero, può essere estesa anche alle formulazioni non ondulatorie della meccanica quantistica e ha pertanto carattere fisico effettivo, indipendente dal formalismo.

Ora, mentre i processi R sono associati a salti quantici e sono dunque processi fisici effettivi, la propagazione della funzione d'onda è un mero artificio matematico per il calcolo di probabilità. Sicché sorge il problema che ha fatto scorrere fiumi di inchiostro: cos'è che connette i due processi R estremi di un atto quantistico elementare? Non ci interessa esaminare il problema in questa sede,

¹ Si osservi che lo stato iniziale deriva dal collasso della funzione d'onda anticipata, soluzione della equazione d'onda coniugata (*backward*).

ma notiamo che tale connessione può essere sia di tipo diacronico che di tipo sincronico.

Da un punto di vista diacronico, i due eventi sono connessi dalla propagazione *continua*, nello spazio e nel tempo, di un “micro-oggetto” dotato di una qualche struttura spaziotemporale (onda, corpuscolo...) che percorre in un tempo finito lo spazio tra i due eventi. Nell’esempio considerato prima, questo micro-oggetto è il fotone.

Da un punto di vista sincronico, la creazione del fotone può essere vista come il dispiegamento, a partire dall’unità principale, di un complesso di qualità chiamate “stato iniziale del fotone”; la distruzione del fotone può essere vista come il riassorbimento, nella unità principale, di un complesso di qualità chiamate “stato finale del fotone”. Tra i due eventi non si propaga alcun oggetto; semplicemente un certo pacchetto di grandezze fisiche viene “materializzato” nel primo evento e “smaterializzato” nel secondo, simulandone una propagazione. Nell’esempio considerato, tale pacchetto è il fotone.

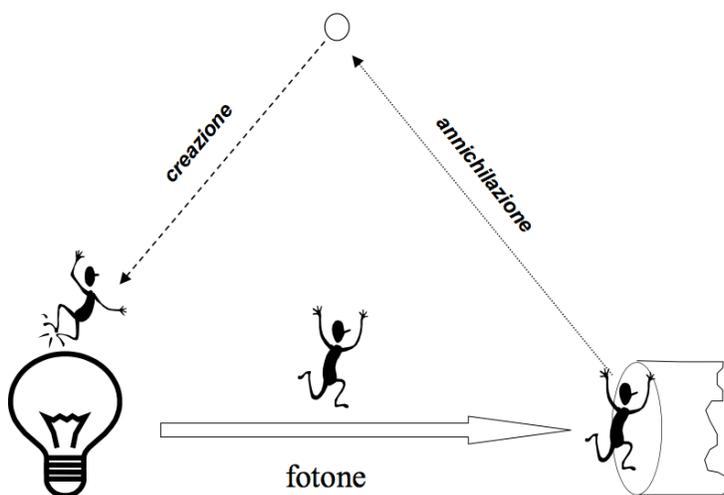


Figura 3 Visione sincronica vs diacronica della propagazione di un fotone singolo.

La differenza tra questi due approcci è molto rilevante dal punto di vista pratico: nell’approccio sincronico i due eventi si connettono al

livello extraspaziotemporale dell'unità principale, e pertanto sono connessi con una modalità nonlocale. La nonlocalità non produce effetti evidenti finché si ragiona sulla propagazione di un fotone singolo; ma quando si considera una coppia di fotoni correlati creati insieme nella stessa sorgente e successivamente inviati verso rivelatori distanti, la connessione non locale tra gli eventi di misura e quelli di creazione produce la fenomenologia EPR. Tale fenomenologia rimane un paradosso nell'approccio diacronico².

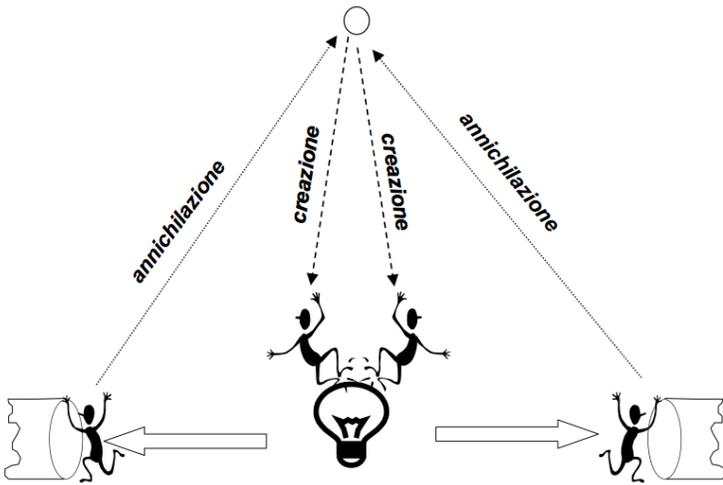


Figura 4 Visione sincronica vs diacronica della propagazione di un fotone singolo, per una coppia di fotoni correlati.

Naturalmente, a rigore, il processo R nel quale viene creato il fotone include l'annichilazione dello stato iniziale dell'atomo emittente, e la creazione del suo stato finale; analogamente, il processo R nel quale il fotone viene assorbito include l'annichilazione dello stato iniziale dell'atomo assorbitore e la creazione del suo stato finale.

L'essenza della proposta è dunque quella di unificare l'approccio diacronico (Figura 1) e quello sincronico (Figura 2) in un unico approccio sincrodiaconico (Figura 5) nel quale gli eventi che

² Come rimane un paradosso l'assenza di traiettorie per il "micro-oggetto".

costituiscono l'esito finale del dispiegamento dell'unità principale, o il punto di partenza per il riassorbimento nella medesima, sono identificati nei processi R del mondo fisico. Tali eventi vengono qui considerati come l'unica sostanza effettiva del mondo fisico.

Come si vede dalla Figura 5, due processi R possono essere connessi causalmente se l'antecedente è l'evento di preparazione di una funzione d'onda e il susseguente è l'evento di collasso dell'evoluto temporale di quella funzione. La propagazione di un fotone, o di un elettrone, sono esempi elementari di tale connessione, che è simboleggiata con una linea continua. Tuttavia, il fatto che *tutti* i processi R della storia passata, presente e futura dell'Universo siano connessi, a livello extraspaziotemporale, nell'unità principale, stabilisce anche la possibilità di una correlazione *acausale* tra di essi.

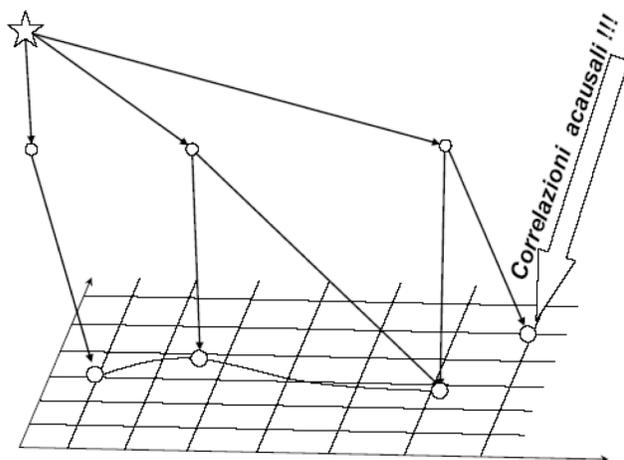


Figura 5 Approccio sincrodiacronico.

Nell'approccio qui delineato esiste dunque la possibilità di correlazioni acausali, nonlocali e transtemporali, tra processi R, non associate ad alcuna veicolazione di tipo materiale o energetico. I sistemi macroscopici costituiti da un numero enorme di questi eventi per secondo soggiacciono a leggi di evoluzione che sono medie macroscopiche delle leggi quantistiche e cioè leggi classiche. Le

correlazioni acausali, pertanto, non entrano mai in conflitto con la successione causale di stati macroscopici dettata dalle leggi classiche. E tuttavia, i microeventi potranno introdurre, in circostanze opportune, una effettiva *novità* in questa successione.

Ciò avverrà se essi innescheranno dei meccanismi *classici* di amplificazione il cui esito finale sarà una scelta tra alternative a livello macroscopico. Nella descrizione classica di questi fenomeni, i processi R appariranno come “rumore di fondo” o come “segnale esterno”, sicché la loro essenza nonlocale ed acausale sarà occultata. Tuttavia, tale essenza continuerà ad esistere, e farà sì che anche l’esito macroscopico abbia una componente acausale, nonlocale e transtemporale.

Dobbiamo quindi concentrare la nostra attenzione sui sistemi in grado di amplificare microeventi fino al livello classico.

Amplificazione macroscopica di microeventi quantistici

Il più classico dei sistemi di questo tipo è semplicemente un apparecchio di misura. Consideriamo ad esempio un contatore Geiger, nel cui tubo penetra una radiazione ionizzante. La radiazione dà luogo ad un “processo R” che altro non è che la prima ionizzazione da essa indotta nel gas di riempimento del tubo. Poiché il tubo lavora in regime di saturazione, questo evento innesca la formazione di una scarica a valanga tra l’elettrodo di rivestimento ed il collettore centrale; questa scarica induce una corrente *macroscopica* nel circuito del tubo, e si ha così un fenomeno di amplificazione del tutto classico.

Ovviamente, si possono avere più processi di amplificazione innestati, con una intensificazione dell’effetto. Ad esempio, l’impulso di corrente ottenuto al primo stadio può essere trasformato in un impulso di tensione alla griglia di un triodo, ed il segnale può essere dunque trasdotto – amplificato – a livello della corrente di

triodo. Il risultato finale potrebbe essere la movimentazione di un indice su una graduazione.

Questo è un apparato artificiale, ma i biosistemi sono ricchi di processi di amplificazione di questo tipo. Un esempio elementare è il danno diretto da radiazione ionizzante. Qui il “processo R” può essere la ionizzazione di un atomo appartenente ad una base azotata in un filamento di DNA di qualche organismo. Questa ionizzazione può spezzare il filamento, dando origine ad una SSB (*single strand breaking*), che di solito viene prontamente riparata dai meccanismi di *repair* operanti nel nucleo cellulare.

Se tuttavia questi falliscono, il danno viene trasdotto dal livello molecolare a quello cellulare da un meccanismo di amplificazione normalmente operante nel nucleo, cioè la produzione di molteplici copie di RNA messaggero, che sono in questo caso alterate. L'effetto finale sarà la sintesi non corretta di proteine. Anche qui, possono aversi processi di amplificazione innestati. Se la cellula colpita è una di quelle soggette a riproduzione (perché embrionale, o appartenente ad una linea germinale, ecc.) il danno viene ulteriormente trasdotto dal livello cellulare a quello sovracellulare da un secondo meccanismo di amplificazione, che è la riproduzione cellulare. L'esito finale potrebbe essere macroscopico e consistere, ad esempio, nella insorgenza di una neoplasia radioindotta.

Altri processi di questo tipo, comuni nel mondo biologico, sono la percezione/propriocezione (si pensi, ad esempio, all'occhio umano in grado di percepire singoli fotoni!), la mutazione puntiforme, alcuni aspetti dell'embriogenesi, eccetera.

Se la proposta delineata nel paragrafo precedente è corretta, connessioni acausali, nonlocali e transtemporali tra microeventi quantistici soggetti a processi di amplificazione quali quelli menzionati possono dar luogo all'emergenza di un ordine *macroscopico*. Questa emergenza presenterà aspetti acausali, nonlocali e transtemporali occultati dalle convenzionali descrizioni adottate per essi (che rimangono nondimeno valide).

Chiamerò *archetipi* gli ipotetici pattern di ordine macroscopico

emergente con queste modalità, e si può facilmente vedere che essi hanno poco o nulla in comune con le omonime entità di platonica memoria.

Archetipi ed evoluzione biologica

Supponiamo dunque che gli archetipi esistano. Si pongono allora immediatamente delle domande: essi giocano un ruolo nell'ontogenesi e/o filogenesi dei sistemi viventi? Ad esempio, il fondo di mutazioni "casuali" che, in accordo alla sintesi neodarwiniana, costituirebbe uno dei presupposti della speciazione, è forse connesso in modo acausale con l'ambiente e i suoi mutamenti? O addirittura con il futuro della biosfera?

È interessante notare che già Pauli si poneva queste domande, come sappiamo dalla recente pubblicazione della sua corrispondenza privata [ATMANSPACHER & PRIMAS, 2006]. Ed in effetti, l'idea che il collasso della funzione d'onda (cioè il "processo R" di Penrose) fosse un atto elementare di scelta attuato dalla (atemporale) *natura naturans* fu formulata per la prima volta proprio da lui [ATMANSPACHER & PRIMAS, 2006], [PEAT, 2002], [MEIER, 2001]. E la natura di microevento quantistico della mutazione non gli sfuggiva.

Esiste, in biologia, tutta una tradizione che accarezza l'ipotesi di un intervento archetipale nell'ontogenesi o nella filogenesi dei sistemi viventi. Comunque, il concetto di "archetipo" è utilizzato nel contesto biologico con una molteplicità di significati non sempre mappabili sulla definizione da me adottata. Un autore vivente che esprime posizioni interessanti a questo riguardo è *Roberto Fondi*, paleontologo presso il Dipartimento di Scienze della Terra della Università di Siena.

Egli invoca l'intervento di archetipi nella filogenesi [FONDI, 2006, 2007, 2014], soprattutto al livello della macroevoluzione, per spiegare la discontinuità dell'evoluzione biologica. Egli rileva che la documentazione paleontologica relativa a praticamente qualunque livello della classificazione tassonomica (regno, phylum, classe,

ordine, famiglia) mostra una pressoché totale assenza di cladi, ovvero di ramificazioni esprimenti una diversificazione divergente. Viceversa, i grandi taxa appaiono praticamente dal nulla, permangono per periodi geologici più o meno lunghi per poi scomparire. È difficile spiegare una situazione di questo tipo in un'ottica neodarwiniana, perché questa, assumendo la selezione come fattore evolutivo determinante, richiede la gradualità filetica.

La spiegazione che ordinariamente si dà è quella degli equilibri punteggiati. Secondo questa teoria le grandi variazioni genetiche si concentrerebbero in piccole popolazioni marginali, nelle quali lo scambio di alleli sarebbe più veloce e il peso delle mutazioni e della selezione più rilevante. Queste popolazioni verrebbero poi deconfinata da eventi cataclismatici, che le disperderebbero su vaste zone generando, nella documentazione fossile, la comparsa apparentemente ex-novo di interi taxa.

Per quanto riguarda i resti fossili delle popolazioni originarie, questi sarebbero difficilmente rintracciabili perché distribuiti in aree spaziali molto limitate, sicché non resterebbe traccia né di antenatori né di "anelli mancanti". La teoria è senz'altro eccellente, ma rimane il dubbio costituito dal fatto che la discontinuità filogenetica si ripete imperterrita a *tutti* i livelli della classificazione tassonomica.

L'ipotesi della connessione acausale delle mutazioni dei viventi, secondo schemi archetipici transtemporali che conducono alla comparsa dei grandi taxa, si impone come una alternativa seducente e tra l'altro neanche necessariamente in contraddizione con i meccanismi postulati dal neodarwinismo. Ovviamente, il problema reale è che non disponiamo ancora di una teoria credibile del meccanismo evolutivo che veda i vari fattori (mutazioni, selezione, plasticità, simbiosi, strutturazione di codici, eccetera) comporsi in un quadro unico.

Al momento abbiamo una teoria neodarwiniana, diversi approcci neolamarckiani, una teoria simbiotica, una teoria semantica, diverse teorie strutturaliste, eccetera. Gli archetipi dovrebbero essere considerati come un possibile meccanismo addizionale, e non sostitutivo o esclusivo.

Possibili verifiche sperimentali

La verifica sperimentale dell'esistenza degli archetipi è possibile, purché si adottino determinate ipotesi aggiuntive sulle loro modalità di azione. Per comprendere l'argomento, consideriamo il seguente esperimento, che può essere facilmente realizzato anche in numerose varianti.

Supponiamo che da una sorgente luminosa molto remota, come il Sole o una stella, siano estratte – mediante una robusta attenuazione e filtrazione – successioni di singoli fotoni tutti identici. Questi fotoni vengono inviati verso uno specchio semiargentato con eguale probabilità di essere trasmessi/riflessi.

I fotoni trasmessi e quelli riflessi sono inviati verso due distinti rivelatori che supporremo identici ed ideali, dando luogo a segnali in uscita che chiameremo rispettivamente I e θ . Ovviamente, un treno di N fotoni incidenti sullo specchio darà luogo, in uscita dall'apparato, ad una successione di N cifre binarie quale, ad esempio, 10110 (vedi Figura 6).

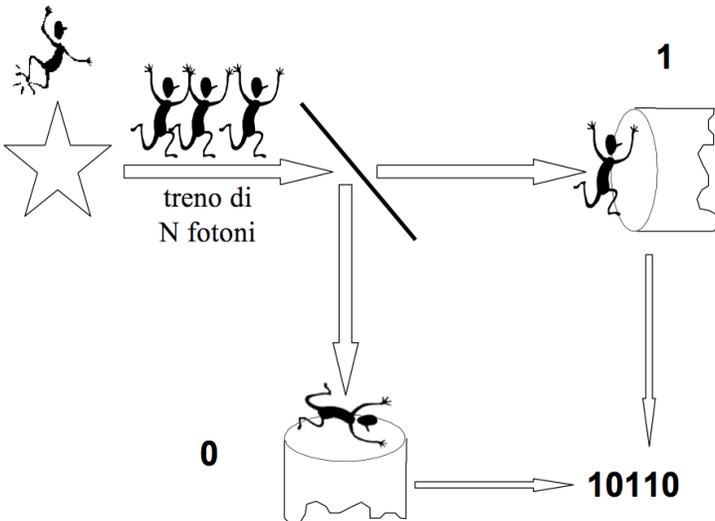


Figura 6 Schema del generatore di successioni di microeventi

L'insieme di tutte le possibili uscite, cioè di tutte le possibili successioni di N cifre binarie, altro non è che l'insieme dei primi 2^N numeri interi. Prendiamo dunque 2^N scatole opache chiuse, e numeriamole in ordine progressivo partendo da 0, secondo la numerazione binaria. In una frazione prefissata di queste scatole, scelte a caso con un generatore di numeri casuali, saranno state poste delle pianticelle. Avremo poi un dispositivo attuatore (vedi Figura 7) che potrà essere collegato o scollegato dalla linea.

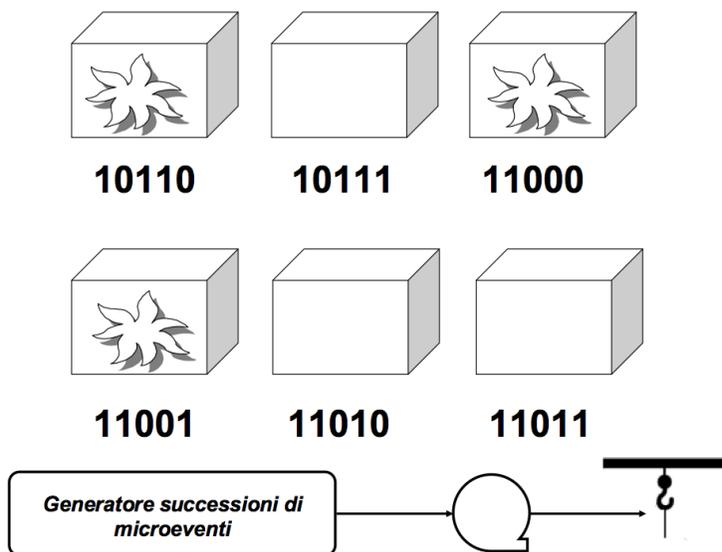


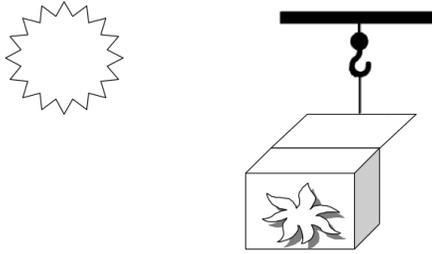
Figura 7 Le scatole e il dispositivo attuatore.

La caratteristica di questo attuatore è che se esso è collegato, l'uscita di una data successione (es. 10110) comporta l'apertura, per un tempo predeterminato, della scatola corrispondente (quella numerata 10110, vedi Figura 8).

Se la scatola aperta è una di quelle contenente al loro interno una pianticella, questa pianticella sarà esposta al Sole e godrà di un periodo di sana fotosintesi. Questo vantaggio per la biosfera sarà invece assente se la scatola aperta è una di quelle che non contengono pianticelle.

L'ipotesi addizionale della quale parlavamo in apertura, stimolata

dalla discussione sull'evoluzione del paragrafo precedente, è la seguente. Ipotizziamo che siano all'opera archetipi cosmici strutturati in modo tale da favorire la crescita e l'evoluzione dei viventi sul pianeta Terra.



10110

Figura 8 Selezione di una scatola e sua apertura.

Se questa ipotesi è esatta, dobbiamo allora essere preparati ad una possibilità sconcertante, cioè che *siano favorite le successioni di microeventi associate all'apertura di scatole contenenti una pianticella, quando l'attuatore è collegato.*

Per quanto insolita, questa affermazione è sperimentalmente testabile. Infatti, se f è la frequenza misurata dell'evento “nella scatola scelta dal selettore c'è una piantina”, quando l'attuatore è staccato, ed f' è la stessa frequenza, misurata quando l'attuatore è collegato, si tratta di vedere se f ed f' differiscono in misura statisticamente significativa. Ciò è senz'altro possibile, perché la distribuzione della variabile aleatoria “numero di selezioni corrispondenti a scatole con dentro una piantina” è una binomiale, tendente ad una gaussiana quando l'esperimento è ripetuto numerose volte. La significatività statistica della differenza tra f ed f' può quindi essere verificata con procedure statistiche consolidate (test t di Student).

Supponiamo di aver eseguito questo esperimento, e di aver trovato una differenza statisticamente significativa tra i valori di f e f' . Questa differenza starebbe a significare che i microeventi di interazione dei fotoni stellari coi rivelatori sono connessi

acausalmente con gli eventi del tipo “nella scatola selezionata c’è o no una piantina”!

Ci sono almeno due interessanti risvolti di questo esperimento. Il primo è che la numerazione delle scatole può essere attuata *dopo* l’interazione dei fotoni con lo specchio. Questa variante richiede linee di ritardo a valle dei fotorivelatori e un’elettronica di commutazione assai veloce. Essa corrisponde all’effettuazione di una “scelta ritardata” in un esperimento tipo EPR, con la riorientazione in volo degli analizzatori. Se la differenza tra f e f' rimane anche con questo accorgimento, ciò sta a significare che la connessione acausale con la quale si ha a che fare è *transtemporale*.

Il secondo interessante risvolto è che la grandezza $H = \log_2(f'/f)$ rappresenta un’informazione immessa nel mondo fisico senza alcuna spesa energetica o entropica. Di questo ci si può facilmente rendere conto se si pensa che tutti gli scambi energetici ed entropici del sistema “selettore + attuatore” rimangono esattamente gli stessi sia che la generica scatola selezionata contenga una piantina, sia che no. L’immissione, nel mondo fisico, di questa informazione gratuita rappresenta un’*innovazione*, la creazione di qualcosa che non è puro effetto del passato: essa sarebbe la segnatura di una facoltà autenticamente creatrice della natura.

Naturalmente, l’idea di una siffatta classe di esperimenti riposa sulla necessità di dover isolare la sorgente di microeventi dal biosistema, allo scopo di avere un controllo sul processo. In natura, i microeventi avvengono *entro* il biosistema, e quest’ultimo *retroagisce* sulla sorgente, sicché il controllo del processo è difficile o impossibile.

Bibliografia

[HAWKING & PENROSE, 2002] S. W. Hawking, R. Penrose, *La natura dello spazio e del tempo*. Rizzoli, Milano (2002).

[PENROSE, 2005] R. Penrose, *La strada che porta alla realtà*. Rizzoli, Milano (2005).

[ATMANSPACHER & PRIMAS, 2006] H. Atmanspacher, H. Primas, “Pauli’s ideas on mind and matter in the context of contemporary science,” *Journal of*

Consciousness Studies 13(3), pp. 5-50 (2006).

[PEAT, 2002] F. D. Peat, *The blackwinged night, creativity in nature and mind*, Perseus, Cambridge MA (2002).

[MEIER, 2001] C. A. Meier (ed.), *Atom and Archetype: The Pauli/Jung letters 1932-1958*, Princeton University Press (2001).

[FONDI, 2006] R. Fondi, *Int. Journ. of Ecodynamics* 1(3), 284-297 (2006).

[FONDI, 2007] R. Fondi, *La macroevoluzione come rete olistica di eventi sincronici*, SISEB (2007).

[FONDI, 2014] R. Fondi, *Il fattore olistico nella macroevoluzione*. In stampa (2014).

Per una descrizione dettagliata degli argomenti trattati qui:

[CHIATTI, 2007] L. Chiatti, "Archetypes, Causal Description and Creativity in Natural World," In: *Physics of Emergence and Organization*; I. Licata, A. Sakaji eds. World Scientific (2007); arXiv: physics/0607082 [physics.gen-ph].

[CHIATTI, 2008] L. Chiatti, "On the Possible Experimental Detection of Non-Causal Synordination Patterns of Physical Events," *Quantum Biosystems* 3, pp. 194-201 (2008); arXiv: 0807.3253 [physics.gen-ph].