

AUTO RICERCA

**Una prospettiva
scientifica sull'eterna
lotta tra il bene e il male
nel viaggio irreversibile
della materia-vita-cultura
e della sua evoluzione**

Diederik Aerts

Massimiliano Sassoli de Bianchi

Numero 27

Anno 2023

Pagine 75-120

 LAB

Riassunto

Seguendo le orme di Schrödinger, proponiamo una visione unificata della materia, della vita e della cultura umana, con particolare attenzione al ruolo svolto dalla seconda legge della termodinamica e dalla separazione primordiale tra materia e antimateria. Così facendo, mettiamo in evidenza la fragilità del *bene* (costruzione, ordine) e la robustezza del *male* (distruzione, caos) quando si fronteggiano localmente e contestualmente all'interno di un medesimo strato di realtà, e il potere del bene rispetto alla debolezza del male quando si oppongono a livello storico globale, cioè entro la struttura temporale che include tutti gli strati del reale e che risulta dalle scelte irreversibili fatte dalla materia, dalla vita e dalla cultura umana, nel corso della loro evoluzione. Dalla visione unificata che proponiamo, emerge la possibilità di un'*ontologia della morale* e una chiara demarcazione tra i principi del bene e del male, conferendo un valore spirituale, solitamente non identificato, nelle sfide cui è sottoposto l'essere umano nella sua esistenza quotidiana.

Introduzione

Nei prossimi anni inizieremo forse a risolvere alcuni dei misteri che avvolgono l'antimateria. Non solo sul suo comportamento elettromagnetico (ad esempio, l'antidrogeno ha le stesse linee spettrali dell'idrogeno?) ma anche sul suo comportamento gravitazionale. Per quest'ultimo, sono già in programma al CERN tre diversi esperimenti: AEGIS (Kellerbauer et al. 2008), ALPHA-g (Bertsche 2017) e Gbar (Indelicato et al. 2014), per determinare se l'antimateria, come la materia, possiede una carica gravitazionale positiva, oppure negativa.

La maggior parte dei fisici ritiene che l'antimateria cada normalmente verso il basso e non verso l'alto, ma quest'ultima ipotesi non è così improbabile, considerando che è l'ingrediente principale del *modello cosmologico di Dirac-Milne* (Benoit-Lévy & Chardin 2012), che fornisce delle possibili spiegazioni sulla materia oscura e sull'energia oscura (Chardin & Manfredi 2018). Inoltre, l'antigravità potrebbe spiegare la “vittoria” della materia sull'antimateria. Infatti, con l'antimateria costretta ad allontanarsi rapidamente dalla materia, quest'ultima sarebbe rimasta protetta dalla prima, sfuggendo al suo abbraccio mortale.

Un altro possibile meccanismo, che spiega anch'esso l'esistenza del nostro universo di materia, dove le strutture sono riuscite a formarsi nonostante la minaccia distruttiva dell'antimateria, è stato proposto molti anni fa da Sacharov (1967), con l'ipotesi di una minuscola differenza nella produzione di materia e antimateria, cioè di una violazione della legge di conservazione del *numero di barioni*. Secondo questa ipotesi, una colossale battaglia – fuori dall'equilibrio termico (Shaposhnikov & Farrar 1993) – tra materia e antimateria avrebbe visto la distruzione quasi completa di entrambi gli “eserciti”, con la sopravvivenza solo di una frazione residua di materia, che ha poi formato l'universo in cui viviamo oggi, dove l'antimateria esiste solo in tracce e non costituisce più un pericolo per le strutture attuali e future.

Non abbiamo ovviamente idea se uno dei due scenari sopra

descritti affronti correttamente quello che è considerato uno dei grandi problemi della cosmologia moderna.¹ Visto che la sopravvivenza della materia sull'antimateria ha permesso la costruzione di strutture complesse, quindi della vita stessa, potremmo dire che questa domanda fa parte di un'altra grande questione: quella dell'emergenza della vita e della cultura umana e della sua lotta per non soccombere all'onnipresenza di forze disgregatrici, che in fisica classica possono essere associate alla *seconda legge della termodinamica*, e in fisica quantistica al meccanismo della *decoerenza*. Una delle idee espresse in questo articolo è che, nel contesto della nostra cultura umana, entrambe queste “forze” possono essere collegate al concetto di *male*.

In Aerts et al. (2019b), uno di noi ha cercato di esprimere quanto sopra in termini più poetici, con le seguenti suggestive parole:

Nessuno ha mai promesso che le cose sarebbero state facili, e non lo sono.

Nessuno ha mai promesso che la sofferenza non sarebbe stata intrinsecamente parte della vita, anche parte della tua vita, ed è così.

Nessuno ha mai promesso diversamente, vale a dire che ogni volta, di nuovo, i problemi sarebbero sorti, alcuni difficili, forse alcuni terribilmente difficili, e alcuni meno difficili, ed è così che stanno le cose.

Nessuno ha mai promesso che sarebbe stato possibile risolvere anche i più piccoli di questi problemi al primo tentativo, senza parlare di quelli più difficili, e così è.

Nessuno ha mai promesso che il male non sarebbe stato in agguato, soprattutto in quei luoghi dove può nascondere meglio la sua natura, e così è.

La breve descrizione di cui sopra, è una valida caratterizzazione della vita in profondità, e sappiamo perché lo è, perché noi, in quanto esseri

¹ I primi risultati dell'esperimento ALPHA-g, ottenuti nel settembre del 2023, hanno messo in evidenza che gli atomi di antidrogeno, rilasciati dal confinamento magnetico, si comportano in modo coerente con l'attrazione gravitazionale verso la Terra. In altre parole, sembra essere escluso un effetto repulsivo antigravitazionale, il che escluderebbe il primo scenario descritto in questo articolo. Vedi: Anderson, E.K., Baker, C.J., Bertsche, W. et al. Observation of the effect of gravity on the motion of antimatter. *Nature* 621, pp. 716-722 (2023).

umani, ci siamo svegliati ad essa nella coscienza.

Questa è la sua natura, perché la vita è la scelta irreversibile fatta momento dopo momento, è la costante lotta contro la regressione spontanea verso l'essere solamente', che al livello locale di un corpo umano denominiamo morte.

Ogni respiro, ogni boccone di cibo, ogni passo, ogni sorriso, ogni abbraccio, ogni sprazzo d'amore, compassione, collaborazione, costruzione, creazione, sono piccole parti di questa costante lotta contro l'essere solamente', o morte locale, il contenuto della seconda legge della termodinamica e, a un livello fisico più profondo, la separazione della materia dall'antimateria nel tempo.

Come piccoli esseri umani siamo umili partecipanti in questo grande impegno di vita, in questa grande impresa di sforzo e lotta, in questa profonda perseveranza della sofferenza, in questo tentativo senza fine di risolvere problemi, fallendo e riprovando, e a volte raggiungendo una vittoria locale e modesta.

Il segreto profondo della vita è che se persegui un nobile obiettivo, tutte le caratteristiche della vita descritte sopra diventano la sostanza del significato, che è il cibo della mente umana.

Lo scopo di questo articolo è di esplorare la visione sintetizzata nelle precedenti righe, che a prima vista potrebbero essere considerate solo come una “metafora psicologica”. Riteniamo invece che vadano prese alla lettera, non solo dal punto di vista psicologico, ma anche fisico e biologico. Esse, infatti, colgono adeguatamente la condizione molto particolare in cui si trovano tutti gli organismi viventi, come le piante, gli animali, ma anche i microrganismi, come i batteri, sebbene solo noi esseri umani ne abbiamo presa piena coscienza e, come sottolineeremo, questo ci pone in una condizione particolare rispetto ad essa.

Dal punto di vista della fisica, la presenza potenziale dell'antimateria, che minaccia di annichilire tutte le strutture materiali nella luce, è un aspetto che esamineremo, così come quello della manifestazione della seconda legge della termodinamica, che svolge anch'essa un ruolo fondamentale. Infatti, seguendo questa legge, i sistemi isolati si evolvono spontaneamente verso uno stato di massima entropia, che è uno stato di equilibrio (termico). Quindi, la

vita, come inizialmente sottolineato da Schrödinger (1944) nel suo famoso libro “Che cos’è la vita?”, consiste nel lottare per allontanarsi dall’isolamento e dalla minaccia di ogni sorta di equilibrio.

Equilibri di diversa natura

Quando mettiamo assieme un elettrone e un protone, possiamo facilmente formare un atomo di idrogeno. Ciò che tendiamo a dimenticare è che la creazione di questa struttura può avvenire solo perché oggi viviamo, cosmologicamente parlando, in un dominio di realtà relativamente pacifico, emerso dalla separazione primordiale della materia dall’antimateria. Come abbiamo già detto, diversi meccanismi potrebbero essere all’origine di questa separazione, che a sua volta potrebbe essere la conseguenza di una separazione ancora più profonda.

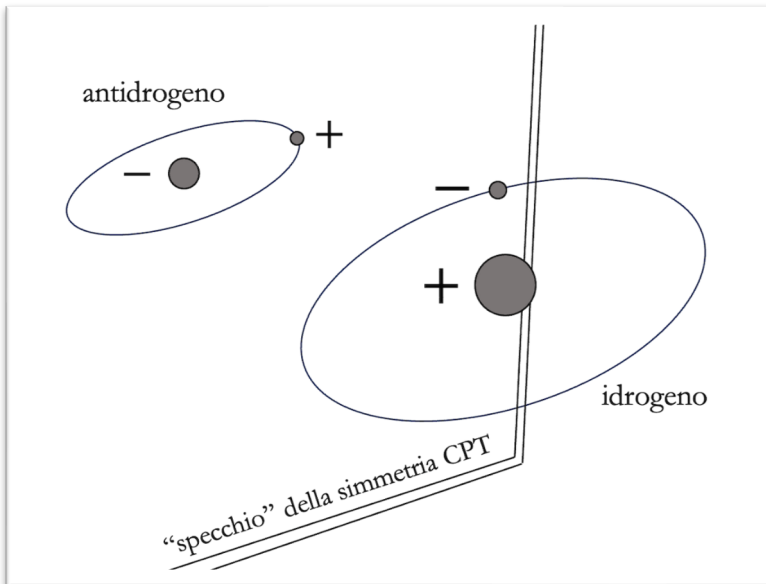


Figura 1 Un atomo di antidrogeno è come un atomo di idrogeno visto a uno specchio immaginario, in grado di rovesciare le direzioni delle quantità di moto, delle posizioni, delle cariche elettriche e del tempo, in quella che viene definita *simmetria CPT*.

Si può ipotizzare che la scissione tra materia e antimateria sia stata il risultato, a un livello molto più fondamentale, della nascita stessa della freccia del tempo, cioè della distinzione tra passato e futuro, che costringe la materia e l'antimateria a muoversi in direzioni temporali opposte, come suggerito ad esempio dai famosi diagrammi di Feynman (Feynman 1949).

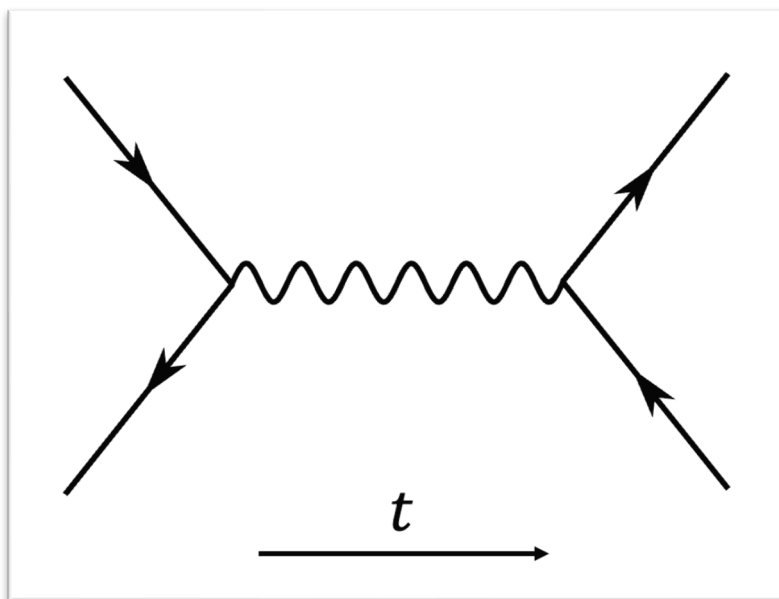


Figura 2 Un tipico *diagramma di Feynman* che descrive un processo elementare (parte di una serie perturbativa). Le linee dritte descrivono dei fermioni (ad esempio, degli elettroni) e le linee ondulate dei bosoni (ad esempio, dei fotoni). Le frecce sulle linee dritte indicano la direzione con cui il fermione percorre l'asse del tempo. Questo diagramma può pertanto essere letto nel modo seguente. Un fermione e un antifermione si annichiliscono in un fotone (linea ondulata) per poi essere ricreati a partire da quello stesso fotone (l'effetto complessivo essendo quindi quello di una loro interazione elettromagnetica).

Quindi, la separazione spaziale sarebbe derivata da una separazione ancora più profonda, avvenuta a un livello temporale. E possiamo associare tale livello primordiale di separazione anche al momento in cui il *campo di Higgs* ha conferito una massa a riposo ad alcune delle entità fisiche che si evolvevano in quei tempi antichi (Kibble 2009), permettendo in questo modo l'espressione della *dualità materia-antimateria*.

Quindi, se un atomo di idrogeno può oggi formarsi agevolmente, è perché l'aspetto *madre* della materia (il significato della parola "materia" deriva dal latino "mater", cioè "madre") può oggi svolgere agevolmente il suo ruolo nel favorire la nascita di ogni tipo di struttura, analogamente a un terreno fertile. Il cosmo, liberato dalla presenza dell'antimateria, è diventato un'isola relativamente pacifica. E per quanto ci è dato di sapere, il processo è irreversibile, quindi, a livello globale dell'evoluzione del nostro universo, il processo di *costruzione di nuove strutture* sta vincendo sul (è più forte del) processo che tende a distruggerle.

Ma quando gli aspetti di *costruzione* e *distruzione* si fronteggiano entro uno stesso strato di realtà, non è sempre così. In tale situazione, appare più probabile che avvenga il contrario: osservare cioè una certa *fragilità della costruzione* e una notevole *robustezza della distruzione*.

Potremmo non renderci conto di questo, quando nel nostro giardino, ad esempio, piantiamo un seme in un fertile terriccio, e lo vediamo crescere. Anche in questo caso, ciò è dovuto al fatto che il nostro giardino è un'isola di stabilità relativamente tranquilla, dove tutto ciò che minaccia la fioritura e la crescita del nuovo seme è stato precedentemente evacuato (supponendo che siamo dei bravi giardinieri). In natura, quello stesso terreno fertile potrebbe infatti incorrere in momenti di estrema siccità, o diventare troppo umido, e comunque sarebbe abitualmente colonizzato da numerose altre piante, che essendo più vecchie e più forti, sottrarrebbero facilmente la luce del sole al nuovo nato, impedendone la crescita (questo è ovviamente solo un esempio).

In altre parole, senza alcuno sforzo apparente, l'universo può dare vita a nuove strutture, a nuove forme di complessità, ma non bisogna lasciarsi ingannare da questa apparente facilità, perché questo può accadere solo quando sono già presenti, in senso attuale, le giuste condizioni, cioè quando sono già state create delle isole di stabilità locale, che svolgono il ruolo di *trampolini di lancio per il progresso futuro*.

Quando siamo localmente al di fuori di queste isole pacifiche, ciò che potrebbe nascere solitamente non nascerà mai, perché ogni nuovo passo è il risultato di una battaglia contro le forze pervasive di destrutturazione, che sono sempre all'opera, quindi ogni nuova struttura, ogni nuova forma di vita, è da considerarsi una vera e

propria conquista.

C'è qui un punto sottile da comprendere. La vita ha bisogno di isole di quiete per svilupparsi e progredire, ma al contempo queste stesse isole di quiete sono affini a un aspetto che è proprio quello che la vita deve costantemente combattere. Come indicato nella citazione precedente, esiste un aspetto della realtà che può essere descritto come il livello di *pura esistenza*, o *puro essere*, o *solo essere*. C'è poi un livello che è completamente diverso, quello del *cambiamento*, dell'*evoluzione*, del *divenire*, che è il livello abitato dalla vita stessa, da intendersi qui nel senso più ampio possibile del termine.

L'essere è sempre in equilibrio, ma la *vita* è intrinsecamente *non in equilibrio* e, più precisamente, è proprio perché *l'essere è in equilibrio* che *la vita non è in equilibrio*.

Il livello dell'*essere* si manifesta come la tendenza della realtà a cercare sempre una condizione di equilibrio, di uniformità. Questa è davvero la caratteristica principale di ciò che chiamiamo *essere*, il cui grande alleato è quindi la seconda legge della termodinamica, con la sua inesorabile spinta verso l'ottenimento di stati di equilibrio stabile. La *vita*, invece, si manifesta come lotta costante volta alla ricerca di condizioni di profondo disequilibrio.

Naturalmente, la vita è anche *creazione* e *costruzione*, quindi, mentre cerca di promuovere condizioni di disequilibrio, senza le quali non potrebbe creare nulla di nuovo, la vita cerca anche di stabilizzare le proprie creazioni, e nel farlo imita in qualche modo il *comportamento di ricerca di equilibrio* del livello dell'*essere*, anche se solo provvisoriamente.

In altre parole, la vita, mentre cerca e promuove il disequilibrio, crea anche dei *dominii temporanei di stabilità*, che vengono immediatamente utilizzati come nuovi trampolini di lancio per esplorare nuovi stati di disequilibrio, e la creazione sequenziale di tutti questi trampolini corrisponde all'*antico meccanismo di esecuzione della vita*, e prima della *vita*, della *materia*, considerando qui la *materia*, in assenza di *antimateria*, come la fase iniziale della vita stessa in questo universo.

Pietre miliari lungo il cammino

Quindi, la realtà ha una sua tendenza spontanea a raggiungere stati di equilibrio, e questa è una caratteristica del *livello dell'essere*, il quale, come abbiamo detto, ha come principale alleato la seconda legge della termodinamica; quindi, quest'ultima rappresenta un grande ostacolo per la vita, che cerca costantemente di preservarsi dal raggiungere un equilibrio. Ma dal momento che la vita lo fa creando dei domini provvisori di stabilità, l'illusione della *vita come manifestazione di equilibrio* può essere facilmente alimentata a livello locale, ma resta nondimeno solo un'illusione.

A differenza della materia, ciò che genericamente chiamiamo *luce* (usiamo qui il termine in senso esteso, cioè per riferirci all'intera radiazione elettromagnetica e non solo alla minuscola porzione di essa che può essere percepita dai nostri occhi umani) descrive il livello di *puro essere* (o almeno, vi si avvicina molto). Questo perché un fotone, essendo privo di massa, non ha una *controparte antimateriale*. Si muove quindi in un dominio di realtà che non è toccato (o lo è solo molto debolmente) dalla dicotomia materia-antimateria. Da questo punto di vista, non è un'entità materiale e non partecipa alla lotta per la vita.

Un altro ambito in cui, forse, tale lotta può essere evitata, è quello mentale. Molte tradizioni antiche, per esempio il buddismo, mirano nei loro insegnamenti a ridurre (a quanto pare anche con un certo successo) qualsiasi forma di conflitto che possa emergere a livello mentale/coscienziale. Quindi, sebbene la mente umana possa riflettere dei conflitti che si manifestano a livello del corpo fisico, è possibile ipotizzare che le *menti* (ma forse dovremmo meglio dire, le *coscienze*) sono in grado di liberarsi dalla lotta che caratterizza la vita biologica. In altre parole, non è impossibile che le menti umane (da non confondere con i cervelli umani), e forse anche le menti non umane, come quelle animali, possano appartenere a un dominio differente della nostra realtà, dove *l'essere e il perfetto equilibrio* potrebbero costituire lo stato di default.

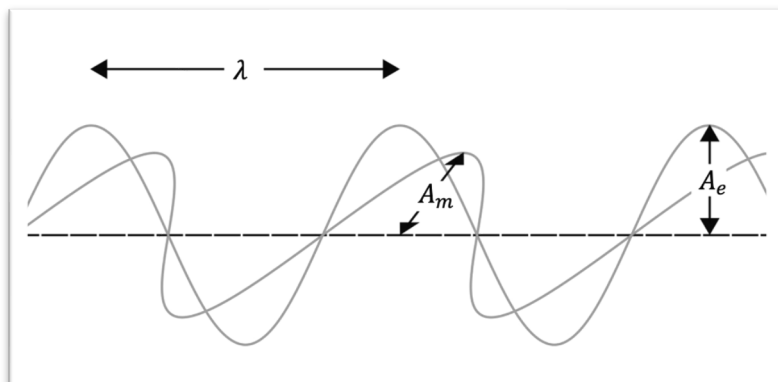


Figura 3 Il fotone è il *quanto* di energia della radiazione elettromagnetica. Storicamente chiamato anche *quanto di luce*, fu introdotto all'inizio del XX secolo, quando si comprese che in un'onda elettromagnetica (qui di ampiezza elettrica e magnetica A_e e A_m , rispettivamente, e di lunghezza d'onda λ) l'energia è distribuita in pacchetti discreti e indivisibili. Il collegamento tra l'energia di un singolo fotone e la frequenza $\nu = c/\lambda$ dell'onda, dove c è la velocità di propagazione, è data dalla celebre *relazione di Planck-Einstein*, $E = h\nu$, dove h è la costante di Planck.

Ora, è proprio perché la vita è uno stato asimmetrico, *fuori equilibrio*, che essa cerca sempre nuove costruzioni e creazioni, e che è intrinsecamente irreversibile. Quando si sceglie la materia rispetto all'antimateria, cioè il disequilibrio rispetto all'equilibrio, l'instabilità rispetto alla stabilità, non è più possibile tornare indietro.

Naturalmente, rimane sempre la *scelta* di utilizzare le pietre miliari del passato, cioè le regioni di quiete locale ed equilibrio temporaneo, per spingersi più avanti e creare regioni sempre più avanzate, oppure, semplicemente, di distruggere tali regioni.

I processi biologici che mantengono in vita e in salute un corpo umano costituiscono un esempio perfetto di *regione di quiete ed equilibrio illusori*. I cambiamenti nell'ambiente esterno possono infatti produrre in ogni momento un improvviso allontanamento da tale equilibrio, implicando l'abbandono dello stato di salute, che può sia significare l'insorgere di malattie, o addirittura la morte dell'organismo in questione, sia la promozione di uno stato di salute superiore (per esempio, attraverso dei processi transitori di *ormesi*).



Figura 4 Nella pratica meditativa, il cui scopo è il raggiungimento dello *stato meditativo*, che di fatto andrebbe più propriamente descritto come *collezione di stati di diversa profondità*, il praticante sperimenta una dimensione di quiete che apparentemente non resta intoccata dalle fluttuazioni e dai conflitti che la mente ordinaria abitualmente produce e sperimenta.

Stato di guerra e stato di pace

Un esempio interessante di pietra miliare locale è la situazione in cui un gruppo di nazioni è in pace tra loro. Anche in questo caso l'equilibrio non è stabile. È infatti sufficiente che una di queste nazioni inizi una guerra affinché molte di esse, se non tutte, siano automaticamente allontanate dal loro precedente stato di pace. In altre parole, esiste una chiara asimmetria tra lo *stato di guerra* e lo *stato*

di *pace*, il primo essendo molto più stabile del secondo.

Consideriamo la situazione opposta, in cui un gruppo di nazioni è in guerra tra loro e una di esse decide di smettere di combattere e di relazionarsi con le altre nazioni in modo pacifico. Questo influirà su quest'ultime? Quasi certamente no. Infatti, in una situazione di guerra globale, finché non si raggiunge un livello di distruzione sufficientemente elevato (l'equilibrio entropico), le diverse parti non riusciranno a sottrarsi individualmente alla sua logica distruttiva (a meno che, ovviamente, non decidano di farlo tutte assieme), pena l'invasione e la conquista del proprio territorio da parte delle altre entità partecipanti al conflitto.

In altre parole, la *pace* è come una matita in equilibrio sulla punta (equilibrio instabile) mentre la *guerra* è come un pendolo (equilibrio stabile). Se si trasferisce un piccolo impulso al pendolo, questo tornerà rapidamente alla sua posizione iniziale, mentre anche il più piccolo impulso trasferito a una matita in equilibrio sulla sua punta le farà perdere, irrimediabilmente, il suo stato di equilibrio iniziale.

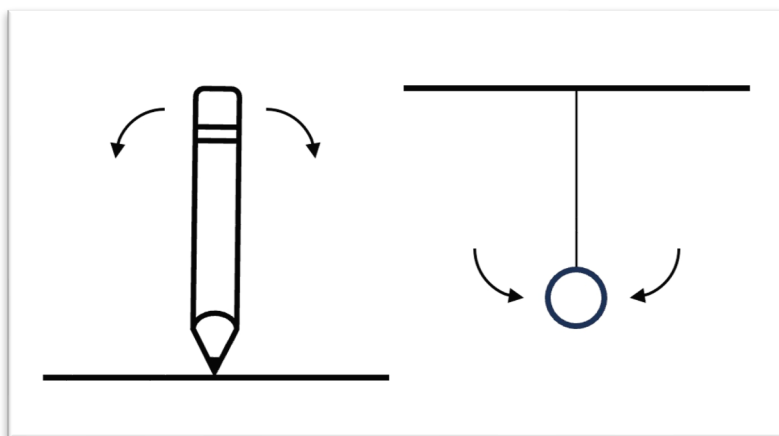


Figura 5 Una matita in equilibrio sulla punta e un pendolo a riposo sono due esempi paradigmatici di equilibrio *instabile* e *stabile*, rispettivamente.

La domanda che sorge allora spontanea è la seguente: se la guerra è uno *stato-attrattore stabile*, e la pace è uno *stato instabile*, perché non ci troviamo sempre in guerra?

La risposta è semplice: sebbene la *guerra* descriva uno stato stabile, è nella natura di tale stato distruggere le precedenti isole di

stabilità, cioè le strutture sociali dei paesi in guerra e, cosa più importante e radicale, i corpi degli abitanti di tali paesi. È in questo processo di *ricerca dell'equilibrio attraverso la distruzione* che si rivela l'irreversibilità della traiettoria della vita. Infatti, l'unica sopravvivenza possibile, o possibilità di progresso, una volta che le strutture materiali sono state arruolate in quel percorso di lotta che è la vita, è nella lotta costante per la conquista di nuove regioni locali di stabilità temporanea, cioè di nuove pietre miliari, o trampolini di lancio, altrimenti tutto ciò che è stato conquistato rischia di andare perduto.

È per questo che le nazioni sono consapevoli che la pace non va mai data per scontata, che richiede un continuo sforzo collettivo per mantenerla e perfezionarla nel tempo.

Il prezzo della libertà

Se da un lato l'instabilità del processo vitale richiede agli esseri viventi degli sforzi continui per la loro sopravvivenza, o per essere in grado di affrontare le sfide evolutive, dall'altro offre un notevole vantaggio. Per illustrare questo aspetto, consideriamo l'esempio dell'uomo che cammina su due piedi, rispetto a un quadrupede che si muove invece su quattro zampe.



Figura 6 A un certo stadio della sua evoluzione, l'uomo è passato da una condizione di *quadrupedia* a una condizione di *bipedia*, cioè a una posizione eretta. Questa ha sbloccato diverse possibilità, come la raccolta e il trasporto di oggetti, tra cui gli alimenti, l'uso e la fabbricazione di attrezzi, la cura dei figli, ecc.

Lo stare su due piedi è uno stato instabile: non è come un pendolo, ma più come una matita che sta sulla punta. È uno stato instabile stabilizzato localmente dal sistema di equilibrio fornito dall'orecchio interno e dal suo meccanismo di *feedback negativo neuronale* (che permette al cervello di conoscere la posizione della testa rispetto alla gravità e all'ambiente circostante).

Il vantaggio degli stati instabili sta proprio nel fatto che delle piccole perturbazioni possono farli collassare in stati molto differenti (si pensi alla matita sulla punta che può cadere in tutte le direzioni possibili). Ciò significa che i sistemi instabili possiedono una notevole *libertà* nell'esplorare diverse *possibilità*. Al contrario, gli stati stabili non hanno alcuna libertà, e questo proprio in virtù del loro equilibrio stabile, che riduce quasi a zero il loro *livello di potenzialità*. E questo è anche il motivo per cui gli stati instabili sono intrinsecamente *imprevedibili*, mentre gli stati stabili sono essenzialmente *deterministici* nella loro evoluzione.

Naturalmente, quando un sistema si apre a un vasto insieme di potenzialità, cioè di *collassi verso diversi stati finali possibili*, molti di questi rappresenteranno anche una minaccia. Ma questo è il prezzo da pagare per la libertà. Quando camminiamo su due piedi, il rischio di cadere è molto più alto che se camminassimo su quattro zampe. Ma avere liberato due arti su quattro significa poterli usare per esplorare nuove regioni della nostra realtà, in modi che prima era impossibile anche solo immaginare.

Consideriamo ancora una volta un pendolo, come archetipo di equilibrio e stabilità. Ogni piccola forza che gli viene applicata lo fa tornare spontaneamente al suo stato di equilibrio originario. In questo archetipo non c'è quasi nessuna libertà, e si potrebbe addirittura affermare, per chiarezza, che *non c'è nessuna libertà a causa del puro equilibrio*.

Quindi, se è vero che molti *collassi*, cioè molti processi di *attualizzazione di esiti potenziali*, si dirigono verso il disastro (in realtà la maggior parte di essi), alcuni andranno invece verso la costruzione di nuove pietre miliari, cioè di nuove isole di stabilità locale. Questo vale per tutte le forme di libertà, non solo la libertà di movimento nei sistemi fisici, ma anche, ad esempio, la libertà di parola nei sistemi socioculturali, così importante per lo sviluppo delle nostre società moderne, sempre più incentrate sulla comunicazione verbale e simbolica. Ma l'intrinseca instabilità di

uno stato di libertà impone a chi lo abita di non distrarsi mai, perché in ogni istante del suo avanzamento sul sentiero della vita s'impongono scelte che possono portare alla costruzione di nuovi equilibri locali, ma anche all'autodistruzione.

Espresso in linguaggio mitico, si tratta di rimanere consapevoli della costante lotta tra il *bene* e il *male*. Quest'ultimo prevarrà sempre se il primo darà per scontato quanto è stato realizzato fino a quel momento. Per dirla con una frase ad effetto:

Le forze del bene, per non soccombere al male, devono fare dell'instabilità la loro unica stabilità.

La precaria condizione umana

A seconda del contesto, possiamo naturalmente sostituire il binomio *instabilità-stabilità* con quello di *incertezza-certezza*, *insicurezza-sicurezza*, *vulnerabilità-invulnerabilità*, ecc. Ciò che è importante osservare è che ci sono molti più modi di essere incerti che certi, di essere insicuri che sicuri, di essere vulnerabili che invulnerabili, e così via. In altre parole, l'incertezza, l'insicurezza, la vulnerabilità, e così via, sono solo varianti della nozione d'instabilità, relative ai diversi contesti della nostra esperienza umana.

La nozione d'instabilità deriva ovviamente dalla fisica, ma si estende oltre il suo dominio, perché la sua definizione si basa solo sulle nozioni molto generali di *entità* (o *sistema*) e *stato*, e non importa se l'entità in questione è fisica, biologica, culturale, economica, ecc. Per esempio, si applica altrettanto bene quando l'entità studiata è un mercato azionario.

Ricordiamo qui la sua definizione tipica. Si dice che un'entità si trova in uno *stato di equilibrio stabile* se, in seguito a un'interazione che produce un cambiamento del suo stato, quando l'interazione cessa l'entità si evolve nuovamente, spontaneamente, verso il suo stato iniziale di equilibrio. Reciprocamente, un'entità si trova in uno *stato di equilibrio instabile* se, a seguito di un'interazione che produce un cambiamento del suo stato, quando l'interazione cessa l'entità si allontana spontaneamente dal suo stato iniziale instabile.

La nostra condizione umana è certamente diversa da quella delle

altre specie biologiche in evoluzione su questo pianeta. Come abbiamo già spiegato, questo è ben evidenziato dal nostro “salto” verso la *postura eretta*, che corrisponde a una nuova pietra miliare nel nostro percorso evolutivo, permettendoci di esplorare nuove forme di *libertà nell’instabilità* e nuove *stabilità provvisorie e locali*.

La maggior parte degli altri animali presenti sulla superficie del pianeta ha atteso troppo a lungo, nel permanere nella regione di stabilità, provvisoria e locale, della *postura strisciante*, o addirittura in quella della *postura immobile*, se pensiamo alle piante. Noi esseri umani, grazie alla postura eretta, abbiamo liberato le mani e così facendo abbiamo potuto dirigere lo sguardo all’orizzonte, anziché verso terra. Questo ha prodotto un ulteriore cambio di prospettiva, una nuova forma di instabilità potremmo dire: quella di poter vedere non solo il presente, ciò che è vicino a noi, ma anche il futuro, ciò che è lontano da noi, inizialmente in termini spaziali, ma in seguito, più in generale e in modo più astratto, in puri termini temporali. E il futuro porta con sé molti nuovi elementi di incertezza, quindi numerose nuove instabilità.

Come disse una volta Ilya Prigogine (1999): “la materia in equilibrio è *cieca*, mentre lontano dall’equilibrio comincia a vedere”.

Tutto ciò ha favorito un cambiamento evolutivo a livello puramente cognitivo, che ha comportato scelte critiche del tutto nuove, tra *costruzione* e *distruzione*, tra *bene* e *male*, con il primo che rappresenta sempre solo un piccolo sottoinsieme della totalità delle scelte possibili.

Possiamo pensare all’unicità della condizione umana odierna, alle sue instabilità, e alle stabilità locali appena conquistate. Quale miglior esempio se non quello dell’energia nucleare? Grazie ai progressi della ricerca in fisica, l’umanità ha trovato il modo di imbrigliare e liberare quella forma di energia che era stata disinnescata nei primi tempi, quando la materia si era separata dall’antimateria, all’inizio del viaggio della materia-vita.

La drammaticità della nostra scelta collettiva di scatenare questa energia primordiale nel lontano 1945, prima nel *Trinity test* e poi su Hiroshima e Nagasaki, può essere apprezzata osservando che ciò fu fatto per contrastare l’avanzata di forze altamente distruttive, quelle incarnate dal nazismo, che in quel momento storico erano certamente un fedele rappresentante, all’interno della nostra cultura umana, delle cosiddette *forze del male*, il cui obiettivo (all’epoca quasi

raggiunto) era di distruggere le precedenti isole di stabilità, piuttosto che utilizzarle per spiccare un ulteriore salto in avanti.

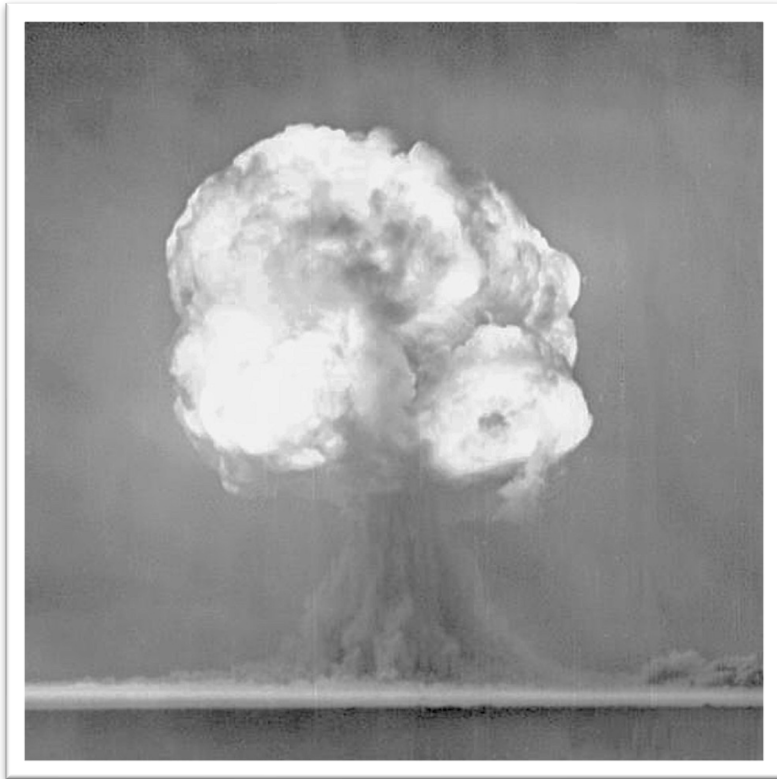


Figura 7 “Trinity” era il nome in codice della prima detonazione di un’arma nucleare della storia, condotta dall’esercito degli Stati Uniti d’America nell’ambito del famoso Progetto Manhattan. Il test venne eseguito alle 5:29:45 UTC-7 (ora locale) del 16 luglio 1945, nel deserto della Jornada del Muerto, a circa 56 km a sud-est di Socorro nel Nuovo Messico. Nella foto, il fungo atomico 16 secondi dopo la detonazione.

Il pericolo insito in questa nuova instabilità, creatasi in seguito alla costruzione della bomba, è ben espresso da Max Born (1971), quando qualche anno dopo scrisse all’amico Albert Einstein quanto segue:² “Questa volta abbiamo davvero messo il piede in fallo,

² “We’ve really put our foot in it this time, poor fools that we are, and I am truly sad for our beautiful physics! There we have been trying to puzzle things out, only to help the human race to expedite its departure from this beautiful earth!”

poveri sciocchi che siamo, e sono veramente triste per la nostra bella fisica! Abbiamo cercato di risolvere i problemi, solo per aiutare la razza umana ad accelerare la sua partenza da questo bel pianeta!”

Oggi, numerose nazioni possiedono un enorme potenziale distruttivo che può facilmente annientare l'intera umanità più volte, e che può essere liberato semplicemente premendo un pulsante. Quindi, la costante lotta della vita contro la minaccia di una regressione spontanea al *solo essere*, che non concede alcuna possibilità di distrazione, è qui espressa dal costante sforzo necessario per non cadere nella tentazione di *premere quel pulsante*.

Si tratta certamente di una nuova e drammatica fase di disequilibrio nel cammino della vita umana. Tutta l'umanità, dagli anni Quaranta del secolo scorso ad oggi, e fino a quando non sarà raggiunta una nuova pietra miliare, si trova in una situazione simile a quella di un alpinista che cammina su una stretta cresta tra due pareti rocciose. E, naturalmente, potremmo ragionare in modo analogo quando consideriamo altre minacce globali che sono il risultato della nostra attività umana, come le pandemie (ne abbiamo avuto un tragico esempio con la recente crisi della Sars-Cov-2), la perdita di biodiversità, il riscaldamento globale e l'intelligenza artificiale (Harari 2018).

Questa natura intrinseca della materia-vita, che si basa sulle instabilità anziché sulle stabilità, sugli stati fuori equilibrio anziché sugli equilibri stabili, si riflette chiaramente anche in quei sistemi in cui è presente una componente umana, come l'economia, dove ad esempio l'instabilità intrinseca del mercato azionario è ben conosciuta e spiega perché le forme troppo rigide di modelli economici top-down non hanno mai funzionato bene.

Più in generale, il modo in cui sono strutturati i diversi paesi e le diverse federazioni svolge un ruolo fondamentale nel nostro avanzare, come società umana, lungo il percorso della materia-vita (Acemoglu & Robinson 2012). A questo proposito, si pensi al ruolo svolto dalle diverse ideologie politiche, che portano sempre con sé aspetti specifici di stabilità (attraverso le leggi e i regolamenti in vigore) e di instabilità (attraverso la libertà che queste stesse leggi e regolamenti consentono).

Un'ontologia della morale

Seguendo la logica della nostra discussione, possiamo osservare che i codici di condotta inscritti nella morale umana (o meglio, nelle morali umane), che distinguono tra comportamenti giusti e sbagliati, tra bene e male, eccetera, sono anch'essi meccanismi volti a creare isole locali di stabilità, cioè pietre miliari sul cammino della materia-vita. Naturalmente, esiste un'enorme gamma di possibilità per creare tali isole di stabilità, per cui possono coesistere diverse morali che svolgono un ruolo simile nella creazione di piattaforme temporanee di stabilità, che essendo temporanee sono ovviamente, in questo senso, anche illusorie (l'illusione essendo quella di considerarle permanenti, quando invece non lo sono).

Consideriamo l'esempio del furto. Per proteggere la popolazione dai suoi effetti nefasti, le società umane hanno creato condizioni per le quali il furto viene fortemente scoraggiato, poiché i ladri vengono solitamente arrestati e possibilmente puniti per le loro azioni, con il carcere. In altre parole, attraverso l'attuazione di leggi specifiche, si crea un ambito in cui il *darsi al furto* non è un consiglio che nessuno darebbe a un buon amico, a causa delle pesanti conseguenze che con ogni probabilità ciò comporterebbe.

Naturalmente, scoraggiare attraverso la punizione, con l'incarcerazione, è un modo piuttosto rozzo di creare un'isola di stabilità, relativa ai meccanismi distruttivi del furto. Con l'evoluzione delle nostre società umane, possiamo facilmente immaginare che saranno garantite a tutti delle condizioni di vita sufficienti, tanto che nessuno sarà più costretto a rubare per vivere decentemente; quindi, anche il furto sarà in questo modo disincentivato, tramite la creazione di un contesto di vita completamente nuovo.

Inoltre, diventerà possibile disincentivare il furto non solo "a valle", come solitamente si fa, attraverso dei meccanismi punitivi, ma anche "a monte", migliorando i meccanismi educativi. E per coloro che cedono comunque alla tentazione di rubare, la "punizione" dovrebbe essere quella di ricevere un complemento di

educazione, in un ambiente capace di trasmettere principi come, ad esempio, quello di una rinnovata fiducia nel potenziale umano, da intendere come forza di costruzione (bene) anziché di distruzione (male). Esattamente il contrario di quanto purtroppo accade in molti penitenziari dei paesi cosiddetti avanzati, che pur essendo efficaci nell'isolare i delinquenti dal resto della società, per proteggerla, raramente riescono a rieducarli a una visione più positiva dell'evoluzione umana.

Come diceva Nelson Mandela: “Nessuno conosce veramente una nazione fino a quando non è stato nelle sue prigioni. Una nazione non dovrebbe essere giudicata da come tratta i suoi cittadini più importanti, ma da come tratta quelli più umili”.

Sfidare il punto di vista comune

Possiamo a questo punto chiederci:

Quanto sono diffusi gli stati di equilibrio instabili del tipo “matita che si regge sulla punta”?

E considerando l'importanza di questi stati nel processo della vita e della sua evoluzione, possiamo altresì chiederci:

Quanto è diffuso il potenziale della vita nel tessuto della nostra realtà fisica?

La nostra risposta è che tale potenziale è presente al suo livello più intimo. Ciò significa che, così come la minaccia della morte termica è onnipresente, e i sistemi viventi devono costantemente lottare per non soccombere ad essa, anche le risorse per sfuggire al suo giogo sono sempre universalmente disponibili per essere sfruttate, se non altro entro quelle isole di stabilità che abbiamo costruito nel tempo.

Per usare un linguaggio quantistico, le cose stanno così anche perché gli *stati di sovrapposizione* sono di fatto onnipresenti (a livello micro, emergono costantemente come conseguenza della linearità dello spazio di Hilbert). Infatti, uno stato di sovrapposizione esprime una condizione di potenzialità in cui ciascuno degli stati che formano la sovrapposizione può essere attualizzato. Questo può accadere ogni volta che l'entità che si trova in quello stato interagisce con un contesto adeguato, che in meccanica quantistica

è denominato *contesto di misura*, e più in generale può essere definito *contesto indeterministico* (Aerts 2002).

Infatti, uno stato di sovrapposizione è tale solo in relazione a un contesto che è in grado di innescare un collasso su una delle sue componenti, e in tal senso un processo di misura quantistica può essere considerato come un processo di *rottura di simmetria* (ponderata), molto simile a quello della matita in equilibrio sulla punta che collassa a terra lungo una specifica direzione (che prima del collasso era solo potenziale). Quindi, dato un contesto, uno stato di sovrapposizione è l'espressione autentica di un equilibrio instabile, dove la transizione indeterministica verso uno degli stati della sovrapposizione è avviata dalla presenza di fluttuazioni presenti nel contesto, che portano l'entità in questione verso uno stato maggiormente stabile (Aerts & Sassoli de Bianchi 2014).

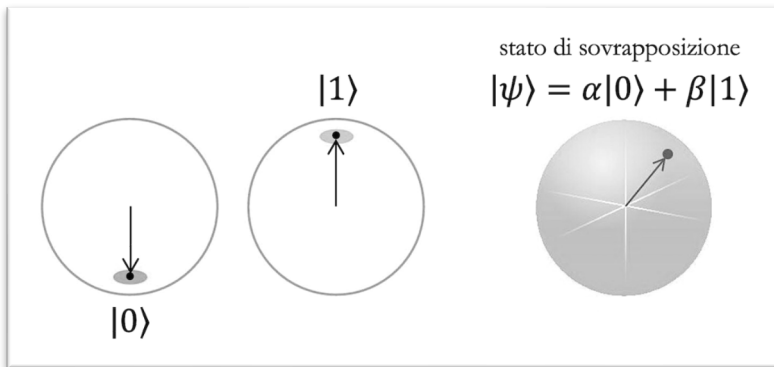


Figura 8 Gli stati quantistici, similmente alle onde della fisica classica, possono essere combinati linearmente, cioè intervenire in somme ponderate che rappresentano sempre degli stati possibili del sistema, detti *stati di sovrapposizione*. Nell'immagine, lo stato $|\psi\rangle$ (rappresentato come vettore nella cosiddetta *sfera di Bloch*) è la sovrapposizione dei due stati $|0\rangle$ e $|1\rangle$, con dei coefficienti di ponderazione α e β , rispettivamente.

Situazioni simili esistono a livello macro, per i sistemi complessi che si auto-organizzano, dove il fenomeno del collasso è solitamente descritto utilizzando la nozione di *biforcazione*. All'aumentare dei valori di alcuni parametri d'ordine, può aumentare anche il numero di soluzioni stabili, costringendo il sistema a selezionare unicamente una tra un insieme di soluzioni a priori equivalenti, che

costituiscono degli *stati attrattori* più stabili (Heylighen 2023).

Esiste quindi una profonda corrispondenza tra il modo in cui si evolvono i sistemi complessi macroscopici e le entità quantistiche microscopiche, per quanto riguarda il ruolo svolto dai contesti indeterministici che producono dei processi di rottura di simmetria.

Queste biforcazioni, o collassi, sono al centro dell'evoluzione dei sistemi viventi, sempre in lotta per trovare nuove isole di stabilità, le quali però sono sempre solo temporanee, poiché i contesti con cui un'entità interagisce sono anch'essi in continuo cambiamento. In altre parole, se il percorso della materia-vita è formato da una successione di instabilità dinamiche, intervallate da momentanee stabilità locali, ciò avviene perché è anche un percorso di contesti in continuo cambiamento, essendo le stabilità locali definite solo rispetto a un determinato contesto, quindi sempre relative e mai assolute.

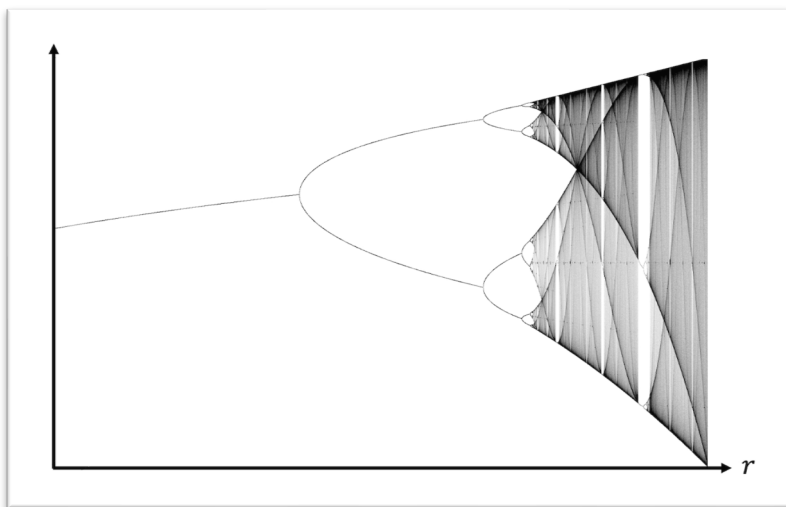


Figura 9 Un tipico *diagramma di biforcazione*. Si ha una biforcazione quando una piccola variazione dei valori dei parametri di biforcazione (qui il parametro r rappresentato in ascissa) causa un cambiamento del numero di punti di equilibrio del sistema, o della loro natura.

Riprendiamo l'esempio paradigmatico della matita in piedi sulla punta. Si tratta di uno stato molto instabile, ma solo perché la matita si trova nel contesto del campo gravitazionale generato dal nostro

pianeta, ed è inizialmente allineata lungo le sue linee di forza. Se il contesto cambiasse, ad esempio se la matita fosse collocata in un'astronave, le stabilità e le instabilità sarebbero definite dalle direzioni di accelerazione dell'astronave, e un'astronave che cambiasse continuamente direzione imporrebbe chiaramente alla matita una sequenza di diversi contesti indeterministici.

In altre parole, uno stato stabile rispetto a un determinato contesto potrebbe improvvisamente diventare instabile rispetto a un nuovo contesto emergente.

Abbiamo indicato la seconda legge della termodinamica, che spinge i sistemi isolati verso stati di equilibrio, come ostacolo principale per il modo in cui la materia-vita si evolve lungo la sua traiettoria di instabilità, disseminata di isole (pietre miliari) di stabilità locali e provvisorie (Schrödinger 1944). Abbiamo anche affermato che uno stato di sovrapposizione quantistica è esattamente uno stato di equilibrio instabile, se consideriamo la presenza di fluttuazioni incontrollabili nel suo ambiente (Aerts 1986, Aerts & Sassoli de Bianchi 2014). Ciò significa che il meccanismo della seconda legge della termodinamica è già all'opera alla scala della meccanica quantistica, anche se la ricerca è ancora in corso per mettere a punto una sua corretta formulazione (Popescu Short & Winter 2006, Bera et al. 2017, Binder et al. 2018).

Quello che stiamo qui mettendo in discussione è quell'opinione comune secondo cui la vita sarebbe solo *crescita, reazione agli stimoli e riproduzione*, e che gli organismi viventi cercherebbero sempre una condizione di *omeostasi*, cioè di equilibrio. Ancora una volta, non stiamo dicendo che l'omeostasi non sia fondamentale per la sopravvivenza di un organismo. La nostra tesi è che ciò non colga l'essenza di ciò che la vita tenta di ottenere, cercando sempre nuovi stati fuori dall'equilibrio.

La nostra enfasi è sull'*elemento di biforcazione* dei sistemi viventi complessi, cioè sul modo in cui essi sono in grado di accedere a nuove potenzialità, quindi a nuove isole di stabilità, attraverso una successione di transizioni che sono governate anche dal fatto che i loro contesti mutano continuamente, imponendo quindi incessanti processi di adattamento, non solo attraverso cambiamenti continui, ma anche e soprattutto attraverso cambiamenti discontinui (salti, collassi, biforcazioni).

Detto questo, si noti che anche l'omeostasi andrebbe intesa in senso puramente dinamico, essendo chiaro che i sistemi complessi auto-organizzati, come i sistemi viventi, sono sistemi aperti che scambiano continuamente materia ed energia con il loro ambiente esterno, lavorando presumibilmente anche alla cosiddetta *frontiera del caos* (Packard, 1988). Anche il semplice mantenimento dello status quo, cioè la capacità di sopravvivere anziché morire, è di per sé già una grande sfida.

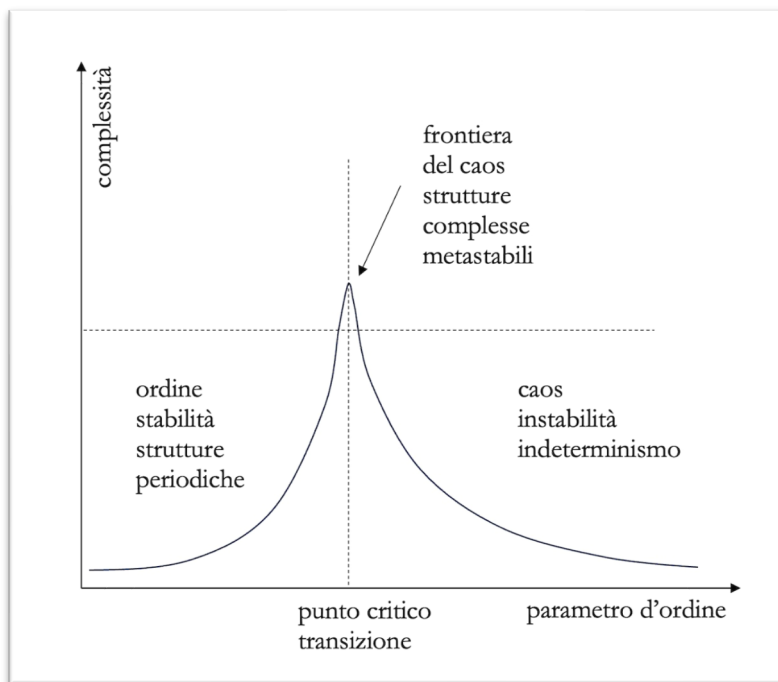


Figura 10 I sistemi naturali si trovano in una situazione di *ordine dinamico*, uno stato al limite tra ordine e disordine, detto *edge of chaos* (frontiera del caos, o margine del caos, o orlo del caos). L'espressione "edge of chaos" è stata conosciuta alla fine degli anni '80 dal fisico Norman Packard.

Preservare nel tempo la nostra integrità strutturale è qualcosa che non possiamo dare per scontato, e tutti noi sappiamo quanto sia difficile farlo, se consideriamo quanta fatica già facciamo solo nel mantenere in ordine la nostra casa. Non è un caso che Jordan Peterson abbia formulato uno dei suoi "antidoti al caos" (cioè al disordine) riferendosi proprio a tale compito, come un modo per

combattere contro la propria entropia personale: “Mettili in perfetto ordine la tua casa prima di criticare il mondo”, scrive Peterson (2018), perché se non prestiamo costante attenzione, tutto andrà automaticamente a rotoli. Dobbiamo regolarmente ripulire la nostra casa, così come dobbiamo regolarmente ripulire la nostra vita e i nostri organismi. E l’unico modo per farlo è quello di eliminare lo sporco che si accumula.

La buona notizia è che *spostare lo sporco all’esterno* è sempre possibile, nonostante il diktat della seconda legge della termodinamica. Uno dei motivi è che nella nostra realtà fisica c’è un’abbondanza di spazio. Occorre sottolineare ancora una volta che una casa (un organismo) non può essere mantenuta pulita se rimane chiusa, cioè se rimane isolata. Anche se l’entropia dell’intero universo, considerato come un sistema chiuso, è destinata ad aumentare, al suo interno, localmente, delle regioni possono mantenere bassa la loro entropia, o addirittura diminuirla, scambiando materia o energia con il loro ambiente esterno, in modo da rispettare l’aumento globale dell’entropia, come previsto dalla seconda legge.

Sul nostro pianeta, la vita ha raggiunto l’obiettivo di preservare ed aumentare l’ordine strutturale necessario al suo sviluppo *assorbendo ordine* dalle onde elettromagnetiche provenienti dal *sole* ed *eliminando disordine* nel rimandare queste stesse onde al *cosmo*, ma con una frequenza più bassa, quindi con un’entropia maggiore. Questo è esattamente ciò che accade nel processo di fotosintesi, iniziato miliardi di anni fa dai *cianobatteri* (Brittin & Gamov 1961).

Possiamo anche notare, come abbiamo già accennato, che in meccanica quantistica i collassi sono possibili a causa della formazione, prima del collasso, di stati di sovrapposizione. Se da un lato la sovrapposizione quantistica di un sistema con il suo ambiente, cioè il suo *entanglement* con l’ambiente, è ciò che ne causerà la *termalizzazione* (Popescu, Short & Winter 2006), quest’ultima può anche essere evitata grazie ai meccanismi di collasso-riduzione della funzione d’onda.

In meccanica quantistica, la termalizzazione è un’espressione della cosiddetta *decoerenza*, mentre le isole di stabilità vanno intese come effetto dovuto alla creazione di *dominii di coerenza* locali.

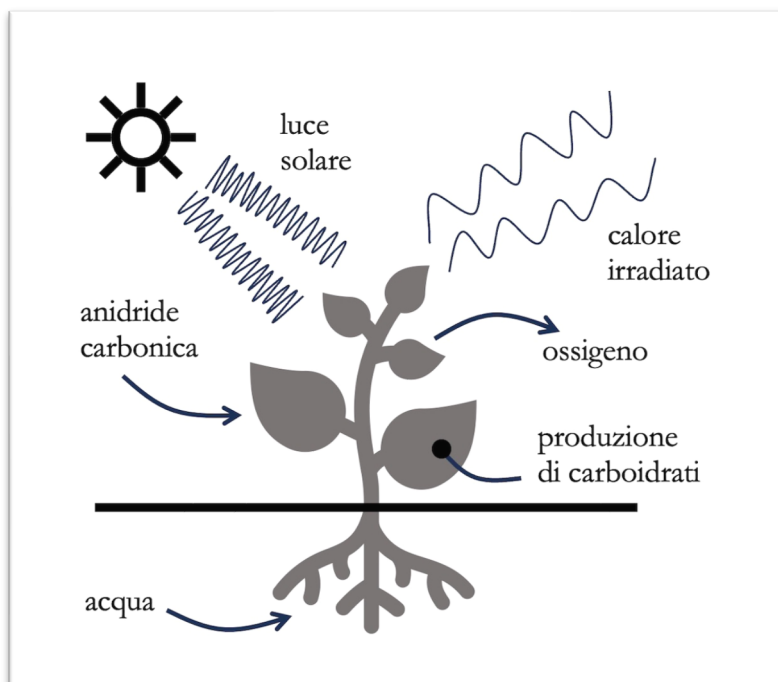


Figura 11 La *fotosintesi clorofilliana* è un processo chimico per mezzo del quale le piante producono sostanze organiche – principalmente carboidrati – a partire dall’anidride carbonica atmosferica e dall’acqua metabolica. Il processo avviene in presenza di luce solare che viene assorbita e riemessa a più bassa frequenza, principalmente sotto forma di calore irradiato.

La coerenza nascosta

A volte si sostiene che lo stato finale dell’universo debba essere uno stato di equilibrio, la cosiddetta *morte termica*, e che in tal senso la vita sia destinata a fallire nella sua battaglia contro la seconda legge della termodinamica, e contro il suo analogo quantistico, la decoerenza.

Questa affermazione, tuttavia, non può più essere sostenuta nell’ambito dello schema cosmologico che abbiamo qui presentato. Infatti, non è affatto chiaro quale sia il meccanismo più fondamentale: quello della materia-vita che compie un viaggio irreversibile attraverso innumerevoli instabilità, utilizzando isole locali di stabilità come

trampolini di lancio, o quello dei processi di rottura di simmetria che partono da un'abbondanza di stati di sovrapposizione e costruiscono, gradualmente, un'isola di stabilità globale.

Un'indicazione del fatto che anche nel nostro universo la questione non sia risolta la si può individuare nell'abbondanza di *coerenza quantistica* che si rivela a noi quando, in laboratori costruiti dall'uomo, i *gas bosonici* vengono raffreddati a temperature vicinissime allo zero assoluto, tanto che in nessun altro luogo dell'universo si conoscono condizioni simili, permettendo la creazione dei misteriosi *condensati di Bose-Einstein* (Anderson et al. 1995, Bradley et al. 1995, Ketterle et al. 1996).

La realizzazione di questi condensati, e la pura coerenza quantistica degli atomi che partecipano a tali stati, non solo è un capolavoro della fisica sperimentale, ma è anche la prova che gli esseri umani, guidati dalle conoscenze fornite dalla scienza, possono penetrare in ambiti del reale che, per quanto ne sappiamo, non sono mai stati realizzati prima, tramite processi naturali non umani, dopo il Big Bang.

Torneremo su questo punto più avanti nell'articolo, ma vogliamo qui solo sottolineare che questo è un esempio concreto di come l'evoluzione culturale umana possa mettere in luce una perfetta coerenza quantistica nascosta nelle profondità del reale, in questo caso schermando gli atomi utilizzati negli esperimenti sopra citati dal disturbo del costante bombardamento random da parte dei fotoni termici, che renderebbe impossibile la costruzione del condensato di Bose-Einstein.

La questione di sapere se questo sia o meno un processo essenzialmente diverso da quello della creazione, da parte della cultura umana, di nuovi artefatti materiali, mai esistiti prima, che non sarebbero potuti venire alla luce in modo naturale dopo il Big Bang, è certamente una domanda che apre a ulteriori interrogazioni sulla natura della realtà, che vale la pena meditare ed esplorare.

Un altro aspetto su cui torneremo, ma che è importante già menzionare, è che l'*entanglement quantistico* e l'*entanglement di significato* possono dare origine a modi più efficaci di creare ordine rispetto a quelli classici consentiti dalla seconda legge della termodinamica, cioè tramite scambi di massa o di energia con il mondo esterno, e questo potrebbe gettare nuova luce sulla questione del futuro a lungo termine della nostra intera realtà, inclusa la cultura umana.

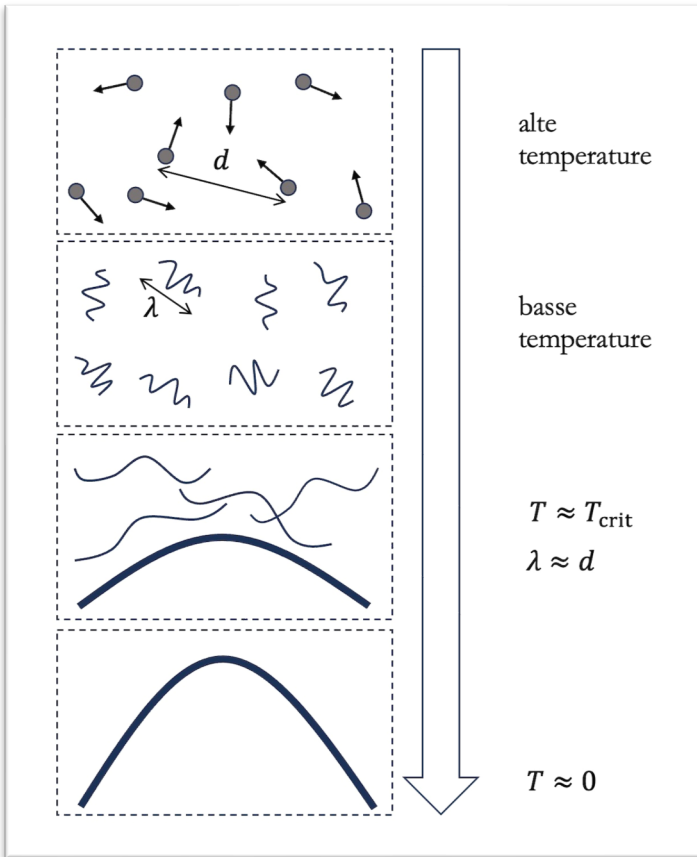


Figura 12 Ad alte temperature, gli atomi di un *gas bosonico* si comportano essenzialmente come corpuscoli. A basse temperature, emerge il loro comportamento ondulatorio, e alla soglia della temperatura critica, T_{crit} , tale che la distanza media d tra gli atomi è dello stesso ordine della loro lunghezza d'onda di De Broglie λ , i bosoni iniziano a popolare, collettivamente, lo stato quantistico più basso, fino a formare, in prossimità dello zero assoluto, $T \approx 0$, un'entità quantistica macroscopica descritta non da molte ma da un'unica funzione d'onda. Si parla allora di *condensato di Bose-Einstein*.

È certamente plausibile, nella nostra visione, considerare la cultura umana come la continuazione dell'evoluzione della vita, a sua volta da considerarsi come la discendenza delle entità quantistiche elementari: *adroni e leptoni, atomi e molecole*. In altre parole, possiamo considerare questi ultimi come gli antenati di una discendenza che ha prodotto la vita nella materia.

Ma non tutte le linee di questa discendenza sono state in grado di giungere a delle forme feconde. A questo proposito, i gas, i liquidi e i cristalli andrebbero considerati come dei vicoli ciechi evolutivi, perché troppo stabili nel nostro attuale universo macroscopico per poter promuovere le instabilità necessarie a far ripartire il percorso della materia-vita (Aerts & Sozzo 2015, Aerts & Sassoli de Bianchi 2019).

Tornando allo stato attuale delle cose sul pianeta Terra, possiamo dire che la vita e la cultura umana hanno buone possibilità di vincere la loro incessante battaglia contro il disordine, grazie all'esistenza di una quantità di spazio virtualmente illimitata. In una famosa citazione, *Carl Sagan* ha affermato che “L’universo è un posto davvero grande. Se fosse solo per noi, sarebbe un terribile spreco di spazio”. Ebbene, anche se fosse “solo per noi”, non sarebbe comunque uno spreco di spazio, perché lo spazio è ciò di cui abbiamo bisogno per smaltire i nostri rifiuti, presenti e futuri, carichi di entropia, soprattutto se l’umanità finirà per conquistare un’ampia porzione del cosmo (Deutsch 1997).

Ma la vita può vincere la sua implacabile battaglia contro il disordine anche grazie alla capacità di effettuare quei necessari *cambiamenti di rotta discontinui, utilizzando i meccanismi disponibili di collasso/biforcazione*. E il pieno potenziale di questi ulteriori impulsi lungo il cammino della vita, costellato di pietre miliari, lo si trova oggi nella cultura umana, nella sua capacità di acquisire ulteriori conoscenze attraverso la guida protettiva dei metodi della scienza (da intendersi qui in senso non riduttivo).

Scenario globale

I discendenti dei costituenti microscopici della materia si trovano quindi sia nella materia vivente sia nella cultura umana, ridimensionando così l’importanza dell’universo materiale macroscopico, per quanto riguarda l’essenza del processo vitale e la sua traiettoria evolutiva.

Ma la teoria quantistica ci informa che le entità microscopiche, nella maggior parte dei loro stati, sono anche entità *non-spaziali*. Ciò significa che la materia-energia, nella sua forma macroscopica, e il nostro intero universo materiale, hanno raggiunto solo apparentemente un'enorme stabilità locale.

Si evince infatti, dall'interpretazione della sovrapposizione quantistica proposta dagli autori, che il nostro universo materiale spazio-temporale è solo una piccola porzione di una ben più vasta realtà non-spaziale e non-temporale (Aerts 1999, Sassoli de Bianchi 2020).

Inoltre, come ricordato all'inizio di questo articolo, non abbiamo ancora una teoria fisica consolidata in grado di spiegare l'assenza di antimateria nel nostro universo materiale. Una tale teoria fornirebbe probabilmente la spiegazione mancante anche dell'esistenza stessa del nostro universo. Ma qualunque siano i dettagli di tale teoria, possiamo generalmente pensare che la situazione globale derivi da un processo di rottura di simmetria cosmica, in cui una sovrapposizione tra materia e antimateria è collassata verso l'attuale *stato di sola materia* del nostro universo.

In questo senso, il nostro universo materiale sarebbe solo una tappa *locale* di un processo evolutivo *globale* (cosmico), in cui i meccanismi di *attualizzazione di proprietà potenziali* svolgono un ruolo centrale, a tutti i livelli della manifestazione, sicuramente non meno importante di quello svolto dai meccanismi darwiniani classici (nel senso di non quantistici) (Gabora & Aerts 2005, Aerts & Sassoli de Bianchi 2018).

Come già accennato, qui probabilmente tocchiamo aspetti legati alla natura stessa del tempo, se intendiamo la materia come *movimento in avanti nel tempo* e l'antimateria come *movimento all'indietro nel tempo*. Una possibilità è che il tempo, lo spazio e l'irreversibilità siano nati assieme alla materia e alla vita.

In altre parole, l'irreversibilità avrebbe avuto inizio quando la materia si è separata, irreversibilmente, dall'antimateria, introducendo nella nostra realtà una freccia temporale permanente.

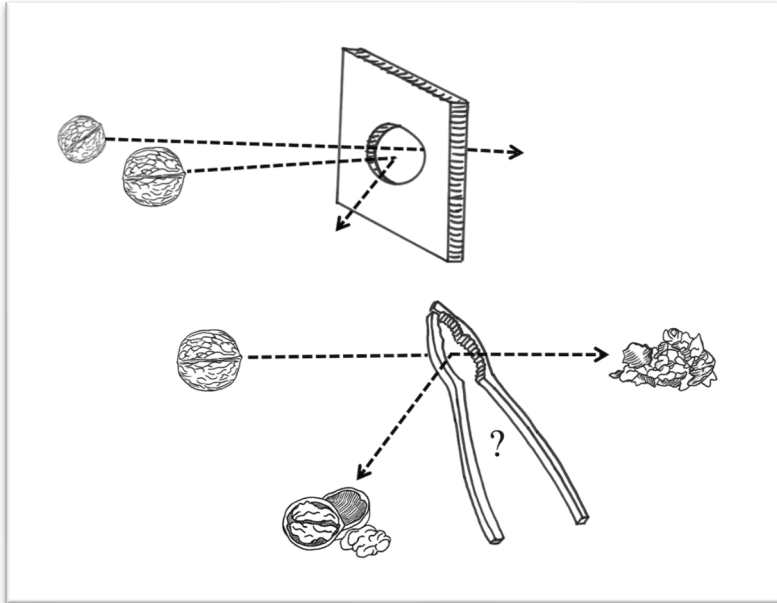


Figura 13 La selezione darwiniana è come un processo dove delle noci vengono filtrate in base alle loro dimensioni *attuali*. D'altra parte, esistono processi di selezione di natura non darwiniana, in grado nondimeno di influenzare la presenza di determinate tipologie di noci sul mercato. Un esempio è la proprietà di una noce di *rompersi bene*, permettendo al gheriglio di essere facilmente separato dal guscio. A differenza del test sulla taglia di una noce, quello sulla sua rompibilità è irriducibilmente imprevedibile, poiché la conferma della proprietà di *rompersi bene*, o *rompersi male*, dipende anche dalle fluttuazioni prodotte dalle mani di chi usa lo schiaccianoci. In tal senso, lo stato di una noce può essere generalmente descritto come sovrapposizione simil-quantistica dei due stati *rompersi bene* e *rompersi male* (Aerts & Sassoli de Bianchi 2018).

Solo la luce (cioè i fenomeni elettromagnetici) sarebbe immune da questa freccia temporale, essendo un'entità che esiste indipendentemente dalla nascita di tempo, spazio, materia ed energia. Questo spiegherebbe perché la luce si comporta in modo così atipico quando la osserviamo dalla particolarità della traiettoria della materia-vita e del teatro spaziale in cui si dispiega. Questa sua atipicità si manifesta, ad esempio, nel fatto che la velocità coordinata c della luce è sempre la stessa in ogni sistema di riferimento.

Questo perché la *luce* è solo *essere*, mentre il tempo e lo spazio sono costruiti sulla base di entità che partecipano alla traiettoria della materia-vita. In questo senso, il tempo e lo spazio sono da considerarsi un aspetto emergente molto particolare della nostra realtà (Aerts 1999, Aerts 2018).

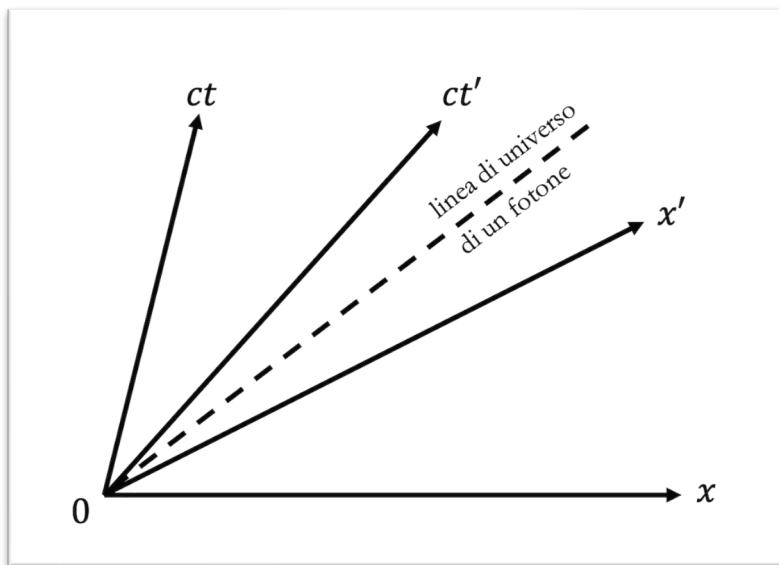


Figura 14 Una rappresentazione affine (non euclidea) di due sistemi di riferimento inerziali. La linea di universo di un fotone, qui rappresentata come linea tratteggiata, è la bisettrice degli assi temporale e spaziale di entrambi i sistemi, da cui si deduce che la velocità c del fotone è la stessa in entrambi i sistemi.

Nel nostro percorso umano, tendiamo a concentrarci solo sulle stabilità e sugli equilibri (e tendiamo a dimenticare che sono locali e temporanei), ma non dovremmo dimenticare l'esistenza di una prospettiva storica più ampia della nostra evoluzione, come entità di materia-energia.

A proposito dell'importanza di adottare una prospettiva storica, così scriveva Ilya Prigogine (1999):

Vediamo ora che il mondo è un mondo storico, che ci sono instabilità, fluttuazioni, che si dispiegano a tutti i livelli. A. Koyre, il famoso storico della

scienza, ha detto che la transizione dal medioevo alla scienza moderna può essere caratterizzata come il passaggio da un universo chiuso e finito a un universo infinito e aperto. L'universo della rivoluzione newtoniana era aperto dal punto di vista dello spazio. Ma in un certo senso era chiuso dal punto di vista del tempo. Si enfatizzavano i moti periodici, la ripetizione. La natura non è solo una geometria, contiene un elemento narrativo, è più simile a un romanzo. Credo che queste conclusioni non siano interessanti solo per uno scienziato. Sono interessanti nella prospettiva generale della comprensione delle civiltà, della nostra vita, perché il tempo è in fondo una dimensione esistenziale fondamentale. Quale sarebbe il senso della nostra esistenza se il tempo fosse un'illusione?

Riteniamo che l'intuizione di Prigogine, di considerare l'irreversibilità come fondamentale, al pari della dinamica reversibile contenuta nelle teorie fisiche più fondamentali, fosse corretta, anche se non ha poi fornito alcuna spiegazione di livello superiore rispetto a queste teorie fisiche fondamentali (Prigogine 1955). A nostro avviso, l'irreversibilità è radicata nella materia stessa ed è iniziata quando la materia e l'antimateria si sono separate. Di conseguenza, la luce non ne farebbe parte (fotone e antifotone coincidono).

Dobbiamo quindi tenere bene a mente la differenza cruciale tra la sostanza dell'*essere* e la sostanza della *materia-vita-cultura*, con la sua traiettoria molto particolare. In una certa misura, alcune caratteristiche dell'*essere* possono essere applicate anche alla traiettoria della *materia-vita-cultura*, ma ciò è possibile solo grazie all'esistenza di regioni locali di stabilità, in cui per un certo periodo la *vita*, e anche la *cultura umana*, possono assomigliare all'*essere*, cioè all'*equilibrio*. Ma, come abbiamo già ripetuto più volte, si tratta solo di una "somiglianza locale", quindi parziale.

La situazione è simile al modo in cui uno *spaziotempo curvo* assomiglia a uno *spaziotempo piatto*, se lo guardiamo solo localmente. Infatti, la sua curvatura può essere percepita solo quando guardiamo le cose da una prospettiva sufficientemente ampia, e globale.

Con la traiettoria della vita è la stessa cosa. Dobbiamo osservarla da una prospettiva globale per capire che essa descrive uno stato molto particolare, completamente differente da quello di default dell'*equilibrio termico*.

Concentrazioni di significato

Se le nostre considerazioni sull'essenza del fenomeno *materia-vita-cultura* possono essere considerate relativamente credibili, quando applicate ai nostri corpi umani e ai veicoli materiali di manifestazione di altre creature viventi, come abbiamo già accennato la situazione è assai meno evidente per quanto riguarda le menti e le coscienze umane.

Dovrebbero anch'esse essere incluse nello stesso scenario evolutivo del tipo "combattere o morire" dei processi della materia-vita?

Forse non del tutto, ma è probabile che uno scenario simile sia da considerare per almeno una parte delle nostre funzioni cognitive, se per esempio consideriamo, e prendiamo abbastanza sul serio, il campo emergente denominato *cognizione quantistica*, dove si dimostra che i fenomeni cognitivi si lasciano modellizzare in modo piuttosto efficace utilizzando il formalismo della teoria quantistica (Busemeyer & Bruza 2012, Haven & Khrennikov 2013, Wendt 2015, Aerts et al. 2013, 2016).

Vi sono infatti ragioni nel ritenere che la termodinamica abbia le sue radici nelle probabilità quantistiche, vale a dire che le probabilità della meccanica statistica, quindi la seconda legge della termodinamica, possano essere ottenute direttamente dalle probabilità quantistiche, tanto che l'entropia sarebbe un concetto che rimarrebbe significativo anche per i singoli sistemi quantistici (Hatsopoulos & Gyftopoulos 1976, Beretta et al 1984). Ciò significa che la minaccia della seconda legge si applicherebbe anche alle entità cognitive, se è vero che il formalismo quantistico (o una sua generalizzazione) le descriverebbe altrettanto bene che le entità della microfisica (e pertanto andrebbero anch'esse intese come entità quantistiche in buona uniforme).

Tanto più se consideriamo che ci sono ragioni nel credere che il nostro mondo fisico possa essere in realtà di natura concettuale, sebbene distinto dal dominio dei concetti umani. Questa è quantomeno l'ipotesi alla base dell'*interpretazione concettualistica della meccanica quantistica*, e della teoria della relatività, attualmente in fase

di studio (Aerts et al 2020, Aerts & Beltran 2020).

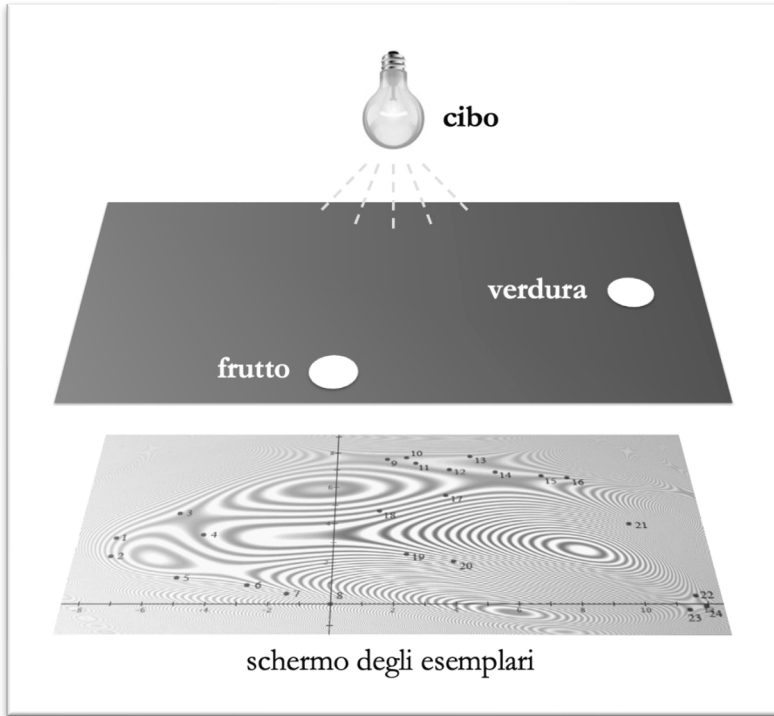


Figura 15 I concetti umani, quando si combinano tra loro, danno vita a *stati di sovrapposizione* in grado di produrre vere e proprie *figure d'interferenza*, simili a quelle che si ottengono nei laboratori di fisica. Nell'immagine, una figura d'interferenza prodotta considerando un'interpolazione dei dati ottenuti dalle risposte di partecipanti a un esperimento cognitivo. Il compito era quello di classificare determinati esemplari di cibo, identificando quali tra essi meglio esemplificavano il concetto astratto di “frutta o verdura”. In altre parole, la disgiunzione logica tra il concetto di “frutta” e il concetto di “verdura” è in grado di produrre delle interferenze similmente a quanto accade nel famoso esperimento della doppia fenditura, a causa del significato che emerge dalla combinazione concettuale “frutta o verdura”, non riconducibile ai significati dei singoli concetti di “frutta” e “verdura” (Aerts 2009).

Si noti che non si tratta di un'ipotesi *ad hoc e top-down*, conseguenza dei gusti metafisici di chi l'ha formulata. Nasce infatti per ragioni puramente tecniche, legate alla somiglianza di comportamento tra le micro-entità quantistiche e le entità concettuali. In particolare, anche i concetti sono caratterizzati da un *principio di indeterminazione*

di Heisenberg ontologico, poiché un concetto non può essere massimamente concreto e massimamente astratto allo stesso tempo; e analogamente alle entità quantistiche, i concetti possono anch'essi essere genuinamente indiscernibili e stabilire connessioni di significato che ricordano il fenomeno dell'entanglement, ecc. (Aerts et al 2020).

Pertanto, alla luce dell'interpretazione concettualistica, la minaccia esistenziale che la seconda legge rappresenta, cioè l'aumento dell'entropia di un sistema quando questo si isola e cessa di lottare per la propria sopravvivenza ed evoluzione, si traduce nel dominio cognitivo nella minaccia di una distruzione della conoscenza, della crescita dell'ignoranza, della perdita di informazioni sul significato, poiché in ultima analisi il *significato* sarebbe la sostanza costitutiva della *materia-vita-cultura*.

In questo senso, l'evoluzione della vita può essere realmente concepita come un processo di *concentrazione di significato*, dove il *significato* va inteso qui anche come processo di *creazione di coerenza*, sotto la costante minaccia dei *processi di decoerenza ambientali*.

Per spiegare meglio cosa intendiamo, facciamo un esempio. Una città, con le sue realizzazioni e manifestazioni culturali, è da considerarsi un ambiente ad alta concentrazione di significato, dove la coerenza è densamente presente, soprattutto al suo centro. Spostandosi dal centro verso l'esterno, si possono però trovare anche zone con ad esempio delle discariche, tipicamente alla periferia della città, che costituiscono un buon esempio di come le entità materiali possono perdere coerenza.

Se entriamo nella biblioteca cittadina, troviamo sugli scaffali e sui tavoli tutti i libri che possono essere visionati e letti dai visitatori, ben conservati e classificati. Tutto nella biblioteca, sia per l'organizzazione dei libri che per il loro contenuto semantico, è espressione di una perfetta coerenza, e i visitatori devono seguire una *traiettoria di significato* ben definita quando si recano in biblioteca, per trovare e consultare un libro.

Paragonate ora quanto sopra con una passeggiata nella periferia della città, dove ci sono delle discariche. Anche lì si possono trovare dei libri, ma soprattutto sotto forma di frammenti di volumi diventati ormai illeggibili, a causa del loro deterioramento, o perché ridotti a singole pagine strappate. Questi frammenti hanno perso tutto il loro significato, la loro coerenza, con l'eccezione forse di

qualche elemento di significato residuo che si trova a un livello più “microscopico”, in quelle pagine dove i paragrafi possono ancora essere letti e parte del contenuto del significato originale afferrato.

Si noti tuttavia che leggere un paragrafo, o anche un’intera pagina, non significa necessariamente essere in grado di cogliere il suo pieno significato, poiché questo solitamente richiede il contesto completo fornito dai paragrafi o dalle pagine mancanti.



Figura 16 Una *discarica* e una *libreria* sono due luoghi, in una città, con *concentrazioni di significato* molto differenti.

Il nostro universo macroscopico, materiale e spaziotemporale, è più simile a una discarica. Infatti, è solo nel micro-reame delle particelle, degli atomi e delle molecole, che si è conservata una piena coerenza quantistica, mentre nel macro-reame, i fotoni termici si propagano continuamente in modo casuale, rimbalzando sulle superfici dei diversi pianeti, con la conseguenza che è rimasta lì ben poca coerenza quantistica, con l’eccezione della superficie del nostro pianeta Terra (e dei pianeti dove la vita e la cultura sono possibilmente emerse in modo simile), dove è nata prima la vita biologica e poi la cultura umana, ripristinando in questo modo la presenza di un’alta concentrazione di coerenza-significato.

Questo fino ad accedere a un livello di coerenza quantistica mai realizzato dopo il Big Bang, quando i fisici hanno creato i primi *condensati di Bose-Einstein*, proteggendo il gas bosonico dal bombardamento dei fotoni termici, con un'efficienza mai raggiunta prima (Anderson et al. 1995, Bradley et al. 1995, Ketterle et al. 1996, Aerts & Sozzo 2015, Aerts & Sassoli de Bianchi 2018).

Tornando all'interpretazione concettualistica, si noti che essa contempla l'esistenza di una dualità fondamentale: quella tra *mente e linguaggio*, che a livello fisico si traduce nella dualità tra *materia e campi di forza*, cioè tra *fermioni e bosoni*. Secondo l'ipotesi della supersimmetria (Martin 1988), tale dualità non sarebbe fondamentale, mentre per l'interpretazione concettualistica è certamente plausibile (anche se non strettamente necessario) che possa essere assai più antica del nostro universo spaziotemporale.

Infatti, dalla *meccanica hamiltoniana* (Hand & Finch 2008) sappiamo che esiste una notevole simmetria tra *spazio e tempo*, e tra *quantità di moto ed energia* (a parte un segno, si possono invertire i ruoli di posizione e quantità di moto, o di tempo ed energia, nelle equazioni di Hamilton). Tale simmetria, tuttavia, non è più attiva nell'universo spazio-temporale che abitiamo, dove l'energia e la quantità di moto non fanno parte della "tela", ma sono le proprietà attribuite alle entità materiali che si evolvono su quella "tela".

Quindi, una fondamentale e antichissima rottura di simmetria dev'essere avvenuta, forse ancora prima dell'inizio del nostro universo. Per questo la nostra visione abituale della realtà, che origina da menti strettamente connesse a dei corpi materiali macroscopici, andrebbe considerata come campanilistica.

La discussione precedente porta con sé, come è inevitabile, altre grandi domande, come ad esempio:

Qual è la natura della rottura di simmetria che ci ha fatto entrare in questa particolare nicchia, dove il tempo e lo spazio sono estensioni, mentre la quantità di moto e l'energia sono proprietà di entità che vivono all'interno di tali estensioni?

Sebbene sia difficile rispondere direttamente a questa domanda, se ammettiamo che la natura della nostra realtà fisica sia concettuale, cioè governata dal significato, possiamo osservare che esiste una profonda corrispondenza tra l'idea di rottura di simmetria incentrata sulla *venuta in esistenza della materia macroscopica*,

con la corrispondente *venuta in esistenza del tempo e dello spazio*, e la rottura di simmetria che si manifesta a livello dei connettivi logici e ed o (Aerts 2013).

Infatti, il connettivo e tende all'estensione, mentre il connettivo o penetra più all'interno. Se ad esempio diciamo *sedia e un'altra sedia*, e li consideriamo oggetti, la combinazione *sedia e un'altra sedia* necessita di uno spazio più esteso per esistere rispetto alla situazione di una sola sedia. Se invece diciamo *sedia o un'altra sedia*, siamo immediatamente al di fuori del tempo e dello spazio. Un oggetto A o un altro oggetto B non è più un oggetto, ma un *concetto*.

Quindi, la nozione di *oggetto* rompe la simmetria tra i connettivi e ed o , mentre tale simmetria rimane intatta nel regno più astratto dei concetti. Infatti, collegare due concetti tramite il connettivo o porta semplicemente a un concetto più astratto, mentre collegare due concetti tramite il connettivo e produce solitamente un concetto più concreto (Aerts et al. 2020).

La nostra ipotesi è che la rottura di simmetria di cui sopra (avvenuta nel processo di sedimentazione dal livello più astratto dei concetti a quello degli oggetti, con quest'ultimi da considerarsi come il caso limite di concetti massimamente concreti) rispecchi quanto avvenuto nella creazione del nostro universo materiale spaziotemporale. In altre parole, il tempo e lo spazio discenderebbero dal funzionamento del connettivo e , che riunisce i concetti in modo spaziotemporale, mentre il connettivo o avrebbe permesso la creazione di entità, sistemi e organismi con una dimensione interna, dove dominano le dinamiche quantistiche, del tipo “ o ”.

Osservazioni conclusive

Riassumendo, abbiamo sostenuto che la scissione tra materia e antimateria, a seguito del Big Bang, abbia segnato la nascita del passato e del futuro e l'inizio della vita nel nostro universo così come lo conosciamo, con la sua costante lotta per trovare nuovi stati di disequilibrio, conquistando al contempo domini provvisori di stabilità da utilizzare come trampolini di lancio evolutivi.

Abbiamo sostenuto che la lotta in questione è quella senza fine contro la seconda legge della termodinamica, sia alla scala della fisica classica che alla scala della fisica quantistica; ed è quella contro la presenza dell'antimateria e della decoerenza, a una scala quantistica ancora più profonda.

Abbiamo osservato che sono necessarie ancora alcune messe a punto a livello quantistico per una formulazione completa della seconda legge della termodinamica (Bera et al. 2017, Binder et al. 2018), ma il modo in cui abbiamo presentato il suo ruolo in questa sede rimane sostanzialmente valido.

Inoltre, nel caso quantistico, i *flussi di scambio di materia o energia tra un sistema e il suo ambiente*, necessari per mantenere bassa l'entropia di un sistema, possono assumere la forma di *correlazioni di entanglement*, dando origine a diverse possibilità strutturali, come conseguenza dell'applicazione dell'*entropia di von Neumann* al posto dell'*entropia di Boltzmann*.

Più concretamente, per i sistemi quantistici, se un sistema è in uno *stato prodotto* (non entangled), l'entropia del sistema è solo la somma delle entropie dei sottosistemi, come nel caso dei sistemi classici. Ma quando i sottosistemi diventano entangled, l'entropia di von Neumann del sistema composito sarà generalmente inferiore alla somma delle entropie dei sottosistemi, poiché l'entropia quantistica è sub-additiva (Araki e Lieb 1970).

Si può facilmente verificare questo fatto considerando un sistema bipartito formato da due entità di spin- $\frac{1}{2}$, in uno *stato di singoletto*, che possiede un'entropia quantistica minima, mentre i suoi due sottosistemi possiedono un'entropia quantistica massima. Ciò significa che a livello quantistico è disponibile un meccanismo più generale e potente di *creazione di ordine* rispetto a quello che è possibile ottenere a livello classico, tramite lo scambio di *flussi di materia ed energia*, quale conseguenza della possibilità di formare *connessioni di entanglement*.

In altre parole, un sistema composito può acquisire più ordine di tutti i suoi sottosistemi, grazie alla possibilità di questi ultimi di entrare in stati di entanglement.

Tenendo conto dei risultati della *cognizione quantistica*, questo modo più potente di creare ordine esiste anche a livello culturale, e nel nostro gruppo di ricerca di Bruxelles abbiamo presentato esempi espliciti di *situazioni di entanglement cognitivo* in cui questo

modo più generale e potente di costruzione di ordine può essere identificato (Aerts & Sozzo 2011, Aerts et al. 2019a). Quindi, a livello culturale, analogamente al livello quantistico, la *concentrazione di significato* può essere espressione di un *entanglement di significato*, cioè di una connessione di significato tra diverse parti di un sistema composito che crea una situazione di relativo ordine e stabilità.

In questo senso, a differenza delle entità non viventi, le entità viventi (lo strato culturale essendo qui interpretato come una continuazione di quello biologico) sono quelle in grado di proteggersi dalla morte, non nel senso di divenire immortali (almeno, non a livello individuale), ma nel senso di potersi schermare per un tempo sufficientemente lungo da ogni sorta di processo di decoerenza, come l'incessante bombardamento random dei fotoni termici presenti sulla superficie del pianeta. Questo per preservare e potenziare la propria organizzazione interna e partecipare alla costruzione di isole di stabilità locale sempre più avanzate.

Nel caso dell'umanità, questa capacità protettiva si è evoluta fino a sfruttare l'effetto amplificatore del nostro sistema nervoso, con l'avvento della cognizione umana, del linguaggio e dell'evoluzione culturale, permettendo di trasferire al livello macro la *coerenza quantistica* che è insita nel livello micro. Quindi, in ultima analisi, quelle che in questo articolo abbiamo chiamato *isole di stabilità*, sono in ultima analisi delle *isole di concentrazione di significato*, delle *isole di conoscenza*, poiché la conoscenza e il significato sono ciò che fornisce il supporto necessario per combattere le condizioni ambientali avverse, presenti e future, consentendo una portata evolutiva virtualmente illimitata.

Detto questo, vale la pena sottolineare che le *isole di stabilità* sono utili solo se sono anche delle *isole di moralità*, essendo evidente che la conoscenza serve a poco se non si sa in che direzione applicarla, cioè se manca la prospettiva storica che ci viene offerta quando contempliamo e apprezziamo appieno la battaglia cosmica della vita contro la minaccia di una regressione alla dimensione del *puro essere*; una battaglia che probabilmente è iniziata con la separazione primordiale materia-antimateria e che continua ancora oggi attraverso la nostra lotta contro la seconda legge della termodinamica (e in tal senso non sarebbe corretto pensare che la complessità biologica sia nata solo a partire dagli organismi unicellulari).

Attingendo a questa prospettiva cosmico-storica diventa possibile accedere a un'ontologia della morale e dei suoi principi, e dotarci di una *bussola morale* affidabile, che ci guidi nelle scelte che ci attendono in futuro.

Invitiamo a questo punto il lettore a rileggere la citazione riportata nell'Introduzione, come breve descrizione poetico-suggestiva della morale fondata sulla conoscenza che abbiamo presentato in questo scritto. Infatti, sapere che nella nostra condizione umana siamo profondamente e inevitabilmente destinati a percorrere una traiettoria irreversibile, costellata di pietre miliari espressione di una stabilità che è sempre e solo locale e temporanea, ci porta a contemplare un'ontologia indubbiamente molto diversa da quella in cui non disporremmo della prospettiva offerta da tale conoscenza.

L'ultima frase della citazione, "Il segreto profondo della vita è che se persegui un nobile obiettivo, tutte le caratteristiche della vita descritte sopra diventano la sostanza del significato, che è il cibo della mente umana", potrà a questo punto, speriamo, essere meglio compresa e apprezzata, alla luce di quanto abbiamo qui cercato di spiegare. A questo proposito, ci auguriamo anche che questo testo possa rappresentare un piccolo contributo nella direzione di una più oggettiva demarcazione tra ciò che gli antichi indicavano con i termini di *bene* e *male*, cioè tra le forze di *costruzione* ed *evoluzione*, e le forze che invece promuovono la *distruzione* e *involutione* di ogni possibile struttura.

Bibliografia

- Acemoglu, D. & Robinson, J. (2012). *Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty*. Crown Business, Random House Inc., New York.
- Aerts, D. (1986). A possible explanation for the probabilities of quantum mechanics. *Journal of Mathematical Physics* 27, pp. 202-210.
- Aerts, D. (1999). The stuff the world is made of: physics and reality. In D. Aerts, J. Broekaert and E. Mathijs (Eds.), *Einstein meets Magritte: An Interdisciplinary Reflection* (pp. 129-183). Dordrecht: Springer.
- Aerts, D. (2002). Being and change: foundations of a realistic operational formalism. In D. Aerts, M. Czachor and T. Durt (Eds.), *Probing the Structure of Quantum Mechanics: Nonlinearity, Nonlocality, Probability and Axiomatics* (pp. 71-

- 110). Singapore: World Scientific.
- Aerts, D. (2009). Quantum particles as conceptual entities: A possible explanatory framework for quantum theory. *Foundations of Science* 14, pp. 361-411.
- Aerts, D. (2013). La mecànica cuántica y la conceptualidad: Sobre materia, historias, semántica y espacio-tiempo, *Scientiae Studia* 11 (2013), pp. 75-100, doi: 10.1590/S1678-31662013000100004. Translated from: "Quantum Theory and Conceptuality: Matter, Stories, Semantics and Space-Time," *arXiv:1110.4766 [quant-ph]*.
- Aerts, D. (2018). Relativity theory refounded. *Foundations of Science* 23, pp. 511-547. doi:10.1007/s10699-017-9538-7
- Aerts, D., Aerts Arguëlles, J., Beltran, L., Geriente, S., Sassoli de Bianchi, M., Sozzo, S. & Veloz, T. (2019a). Quantum entanglement in physical and cognitive systems: A conceptual analysis and a general representation. *The European Physical Journal Plus* 134, 493.
- Aerts, D. & Beltran, L. (2020). Quantum structure in cognition: Human language as a boson gas of entangled words. *Foundations of Science* 25, pp. 755-802.
- Aerts, D., Ekeson, K. W., Schneider, V. & Sassoli de Bianchi, M. (2019b). The secret of life. *AutoRicerca* 18, pp. 21-107.
- Aerts, D., Gabora, L. & Sozzo, S. (2013). Concepts and their dynamics: A quantum-theoretic modeling of human thought. *Topics in Cognitive Science* 5, pp. 737-772.
- Aerts, D. & Sassoli de Bianchi, M. (2014). The extended Bloch representation of quantum mechanics and the hidden-measurement solution to the measurement problem. *Annals of Physics* 351, pp. 975-1025.
- Aerts, D., Sassoli de Bianchi, M. & Sozzo, S. (2016). On the foundations of the Brussels operational-realistic approach to cognition. *Frontiers of Physics* 4, 17.
- Aerts, D. & Sassoli de Bianchi, M. (2018). Quantum perspectives on evolution. In S. Wuppuluri and F. A. Doria (Eds.) *The Map and the Territory: Exploring the Foundations of Science, Thought and Reality* (pp. 571-595). Berlin: Springer, The Frontiers collection.
- Aerts, D., Sassoli de Bianchi, M., Sozzo, Veloz, T. (2020). On the conceptuality interpretation of quantum and relativity theories. *Foundations of Science*. 25, pp. 5-54.
- Aerts D. & Sozzo S. (2011) Quantum structure in cognition: Why and how concepts are entangled. In D. Song, M. Melucci, I. Frommholz, P. Zhang, I. Wang & S. Arafat (Eds), *Quantum Interaction. QI 2011. Lecture Notes in Computer Science* 7052, pp. 116-127. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Aerts D. & Sozzo S. (2015) What is quantum? Unifying Its micro-physical and structural appearance. In H. Atmanspacher, C., Bergomi C., Filk T. and Kitto K. (Eds), *Quantum Interaction. QI 2014. Lecture Notes in Computer Science* 8951, pp. 12-23. Springer, Cham.
- Anderson, M. H., Ensher, J. R., Matthews, M. R., Wieman, C. E. & Cornell, E. A. (1995). Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor. *Science, New Series* 269, pp. 198-201.
- Araki, H. & Lieb, E. H. (1970). Entropy inequalities. *Communications in Mathematics Physics* 18(2), pp. 160-170.
- Beretta, G.P., Gyftopoulos, E.P., Park, J.L. & Hatsopoulos, G.N. (1984).

- Quantum thermodynamics. A new equation of motion for a single constituent of matter. *Nuovo Cimento B* 82, pp. 169-191.
- Benoit-Lévy, A. & Chardin, G. (2012). Introducing the Dirac-Milne universe. *Astronomy & Astrophysics* 537, A78. doi: 10.1051/0004-6361/201016103.
- Bera, M. N., Riera A., Lewenstein, M. & Winter, A. (2017). Generalized laws of thermodynamics in the presence of correlations. *Nature Communications* 8, 2180.
- Bertsche, W. A. (2017). Prospects for comparison of matter and antimatter gravitation with ALPHA-g. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 376, 20170265.
- Binder, F., Correa, L.A., Gogolin, C., Anders, J. & Adesso, G. (Eds.), (2018). *Thermodynamics in the Quantum Regime*. Berlin: Springer.
- Born, M. (1971). *The Born-Einstein Letters. Correspondence between Albert Einstein and Max & Hedvig Born from 1916 to 1955 with commentaries by Max Born*. The Macmillian Press Ltd.
- Bradley, C. C., Sackett, C. A., Tollett, J. J. & Hulet, R. G. (1995). Evidence of Bose-Einstein condensation in an atomic gas with attractive interactions. *Physical Review Letters* 75, pp. 1687-1690.
- Busemeyer, J.R. & Bruza, P.D. (2012). *Quantum Models of Cognition and Decision*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Brittin, W. and Gamov, G. (1961). Negative entropy and photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 47, pp. 724-727.
- Chardin, G., Manfredi, G. (2018). Gravity, antimatter and the Dirac-Milne universe. *Hyperfine Interactions* 239, 45. doi: 10.1007/s10751-018-1521-3.
- Deutsch, D. (1997). *The fabric of reality*. Allen Lane, The Penguin Press.
- Feynman, R.P. (1949). The Theory of Positrons. *Physical Review* 76, 749.
- Gabora, L. and Aerts, D. (2005). Evolution as context-driven actualization of potential. *Interdisciplinary Science Reviews* 30, pp. 69-88.
- Hand, L. N. & Finch, J. D. (2008). *Analytical Mechanics*. Cambridge University Press.
- Harari, Y. N. (2018). *21 Lessons for the 21st Century*. New York: Spiegel & Grau, 2018.
- Hatsopoulos, G.N. & Gyftopoulos, E.P. (1976). A unified quantum theory of mechanics and thermodynamics. Part I. Postulates. *Foundations of Physics* 6, pp.15-31.
- Haven, E. & Khrennikov, A.Y. (2013). *Quantum Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heylighen, F. (2023). Entanglement, Symmetry Breaking and Collapse: Correspondences Between Quantum and Self-Organizing Dynamics. *Foundations of Science* 28, pp. 85-107.
- Indelicato, P. et al. (2014). The Gbar project, or how does antimatter fall? *Hyperfine Interactions* 228, 141.
- Kellerbauer, A. et al. (2008). Proposed antimatter gravity measurement with an antihydrogen beam. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 266, 351.
- Ketterle, W. & van Druten, N. J. (1996). Bose-Einstein condensation of a finite number of particles trapped in one or three dimensions. *Physical Review A* 54, pp. 656-660. doi:10.1103/PhysRevA.54.656.
- Kibble, T. (2009). Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble mechanism. *Scholarpedia* 4, 6441.

- Martin, S. P. (1988). A supersymmetry primer. In G. L. Kane (Ed.), *Advanced Series on Directions in High Energy Physics. Perspectives on Supersymmetry* (pp. 1-98). Singapore: World Scientific
- Packard, N. H. (1988). *Adaptation Toward the Edge of Chaos*. University of Illinois at Urbana-Champaign, Center for Complex Systems Research.
- Peterson, J. B. (2018). *12 Rules for Life. An Antidote to Chaos*. Canada, Toronto: Random House.
- Popescu, S., Short, A. J. & Winter, A. (2006). Entanglement and the foundations of statistical mechanics. *Nature Physics* 2, pp. 754-758.
- Prigogine, I. (1955). *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher.
- Prigogine, I. (1999). Einstein and Magritte. A study of creativity. In D. Aerts, J. Broekaert and E. Mathijs (Eds), *Einstein Meets Magritte: An Interdisciplinary Reflection on Science, Nature, Art, Human Action and Society*, vol 1. Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-94-011-4704-0_6.
- Sakharov, A. D. (1967). Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe. *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters*. 5, pp. 24-27.
- Sassoli de Bianchi, M. (2020). A non-spatial reality. *Foundations of Science*. doi: 10.1007/s10699-020-09719-4.
- Schrödinger, E. (1944). *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Based on lectures delivered under the auspices of the Dublin Institute for Advanced Studies at Trinity College, Dublin, in February 1943. Cambridge: Cambridge University Press 1967.
- Shaposhnikov, M. E & Farrar, G. R. (1993). Baryon asymmetry of the universe in the minimal Standard Model. *Physical Review Letters* 70, pp. 2833-2836.
- Wendt, A. (2015). *Quantum Mind and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Nota: Questo articolo è una rivisitazione ed ampliamento di un capitolo precedentemente pubblicato in inglese: Aerts, D., Sassoli de Bianchi, M. (2022). On the Irreversible Journey of Matter, Life and Human Culture. In: Wuppuluri, S., Stewart, I. (eds) From Electrons to Elephants and Elections. The Frontiers Collection. Springer, Cham, pp. 821-842. Il capitolo in questione era a sua volta una sintesi ed successiva elaborazione di un dialogo avvenuto nel Numero 18 di AutoRicerca, 2019, dal titolo “Il segreto della vita” (solo in inglese).